



DTG2F3  
**Sistem  
Komunikasi**

**MODULASI  
ANALOG**

# Where We Are?

## 1. PENDAHULUAN

- Perkenalan dan sosialisasi SAP&syllabus
- Elemen dasar Sistem Komunikasi
- Sistem komunikasi Analog Vs Digital
- Sumber Informasi dalam sistem komunikasi
- Kanal dalam sistem komunikasi
- Teorema shanon
- Modulasi (modulasi analog vs modulasi digital ; CW modulation vs pulse modulation)

## 2. MODULASI ANALOG

- Modulasi , demodulasi, dan kinerja sistem AM
- Modulasi, demodulasi, dan kinerja sistem FM
- Aplikasi sistem AM dan FM (Radio Broadcasting, dan TV analog)

## 3. SISKOM DIGITAL → ADC, SOURCE CODING, MULTIPLEXING

- Analog to Digital converter (ADC)
- Source Coding (Shanon faco coding dan huffman coding)
- Multiplexing (Time Division Multiplexing (TDM) : PCM 30/E1 dan PCM 24/T1)

## 4. SISKOM DIGITAL → Baseband Modulation

- Binary digit waveform
- PCM waveform type

## 5. SISKOM DIGITAL → Passband Modulation

- Modulasi ASK
- Modulasi FSK
- Modulasi PSK
- Modulasi QAM
- Modulasi GMSK
- OFDM

## 6. NOISE DALAM SISKOM

- Sumber Noise (internal dan external)
- Shot Noise dan Thermal Noise
- AWGN (Additive White Gaussian Noise)
- Noise Figure, Noise Temperature, dan Sistem Temperatur

## 7. SISKOM DIGITAL → Channel Coding

- Linear Block Code
- Cyclic Code
- Convolution COde

# OUTLINE

## MODULASI ANALOG

1. Penerapan Tranformasi Fourier dalam Sistem Komunikasi
2. Modulasi, Demodulasi, dan Kinerja Sistem AM
3. Modulasi, Demodulasi, dan Kinerja Sistem FM
4. Radio Broadcasting (AM dan FM) & TV Broadcasting (Analog)

# OUTLINE

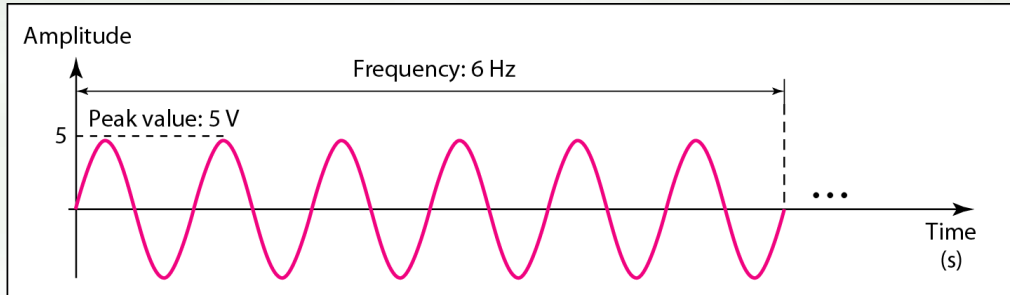
---

## Penerapan Transformasi Fourier dalam Sistem Komunikasi

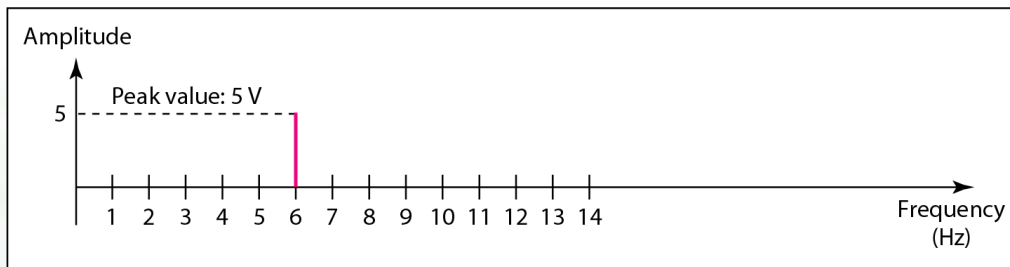
---

# TRANSFORMASI FOURIER

## Time and Frequency Domain



a. A sine wave in the time domain (peak value: 5 V, frequency: 6 Hz)



b. The same sine wave in the frequency domain (peak value: 5 V, frequency: 6 Hz)

*Domain Waktu dan domain  
Frekuensi dari gelombang  
sinusoidal*

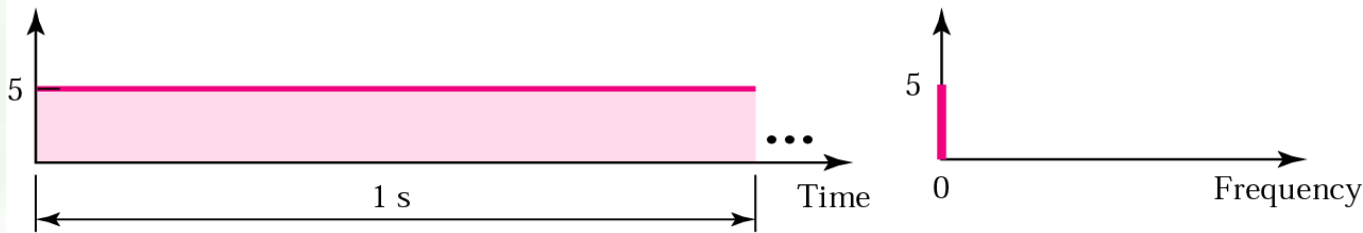
- ❑ Suatu sinyal dapat direpresentasikan dalam domain waktu ataupun frekuensi
- ❑ Dalam domain waktu direpresentasikan dalam bentuk tegangan atau arus dalam fungsi waktu
- ❑ Dalam domain frekuensi direpresentasikan dalam bentuk magnitudo dan fasa dalam fungsi frekuensi
- ❑ Transformasi fourier berfungsi sebagai pengubah representasi sinyal dari domain waktu  $s(t)$  kedalam domain frekuensi  $S(f)$
- ❑ Inverse Transformasi Fourier melakukan fungsi sebaliknya

# TRANSFORMASI FOURIER

## Time and Frequency Domain

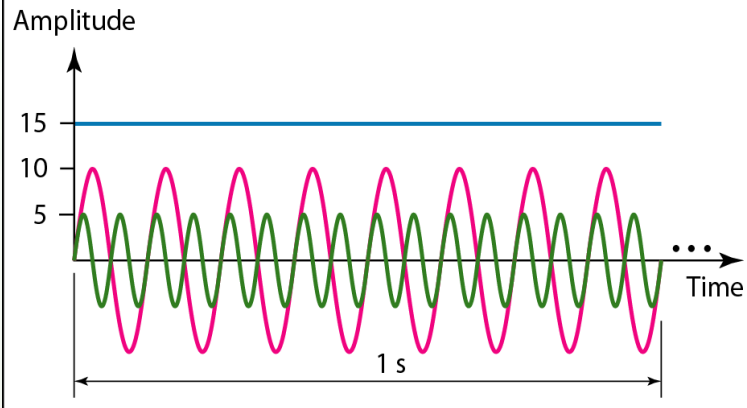
Time domain

Frequency domain

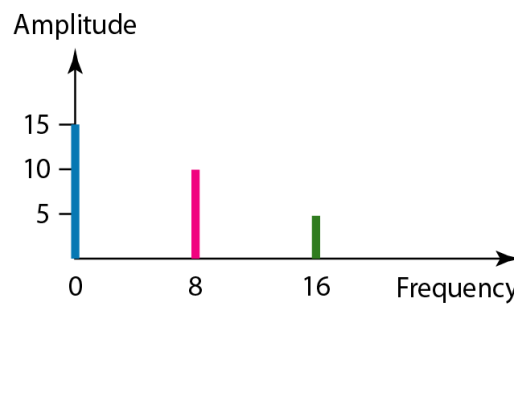


a. A signal with frequency 0

*The time-domain and frequency-domain plots of a DC Signal*



a. Time-domain representation of three sine waves with frequencies 0, 8, and 16



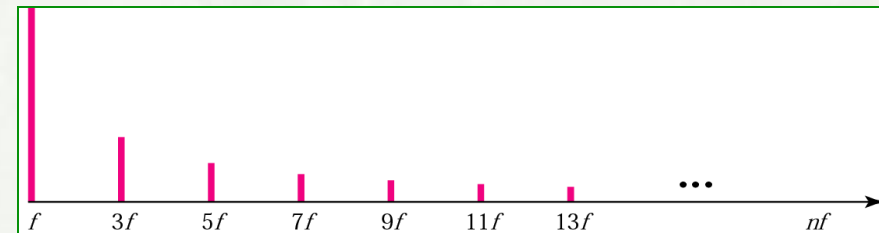
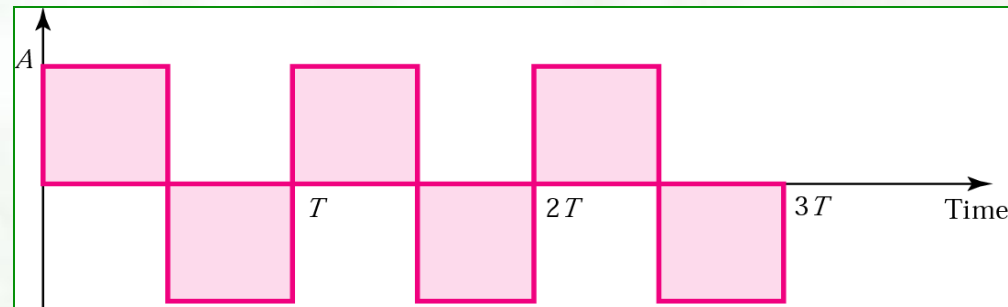
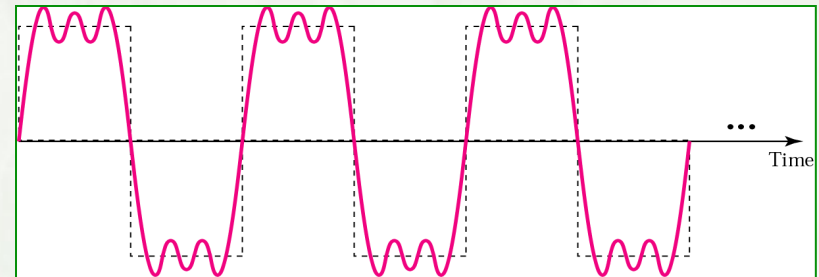
b. Frequency-domain representation of the same three signals

*The time domain and frequency domain of three sine waves*

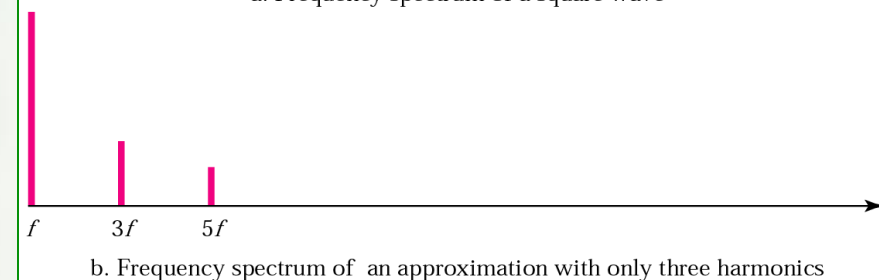
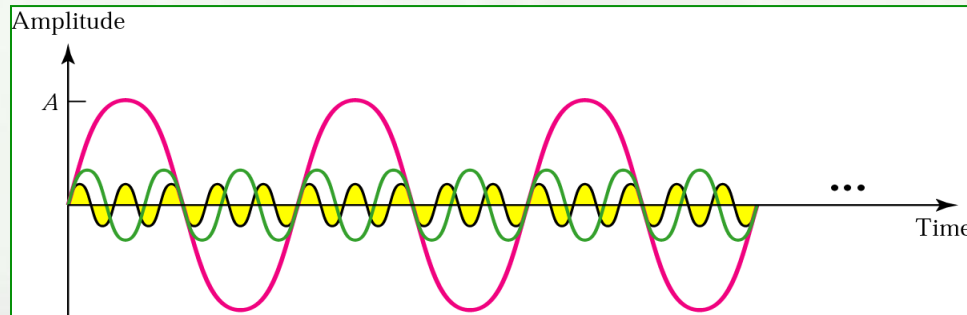
# TRANSFORMASI FOURIER

## Fourier Analysis

According to Fourier analysis, any composite signal is a combination of simple sine waves with different frequencies, amplitudes, and phases.



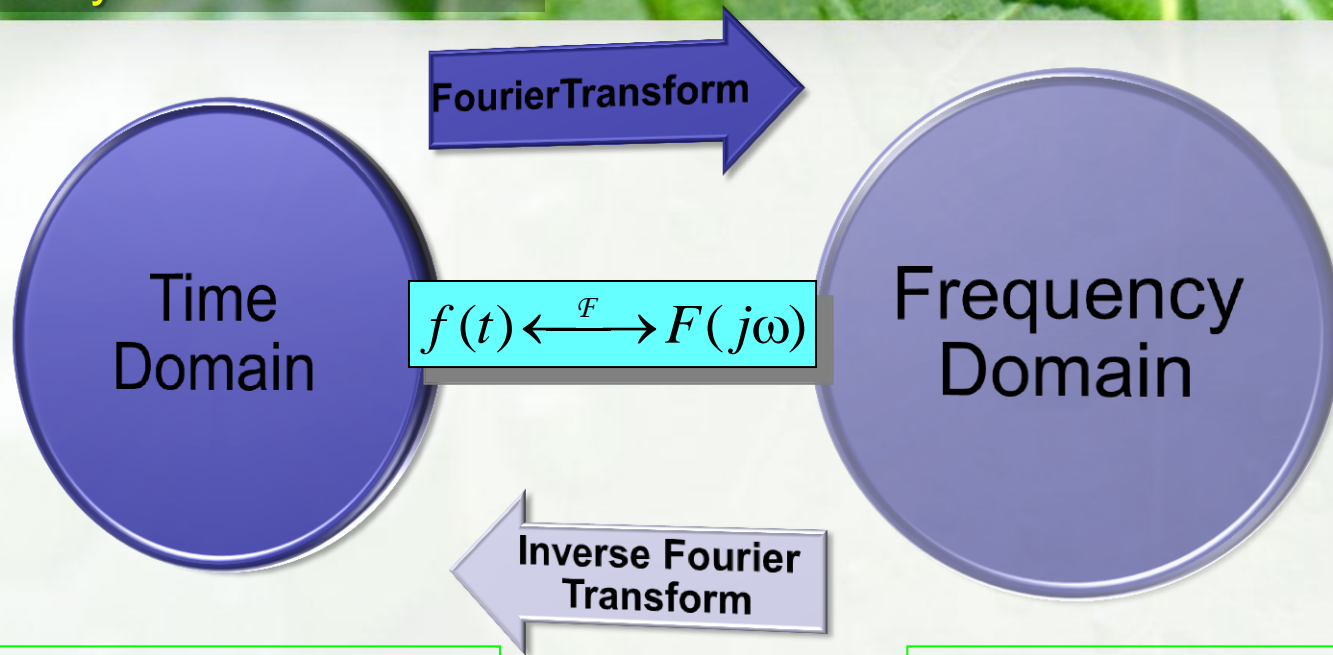
a. Frequency spectrum of a square wave



b. Frequency spectrum of an approximation with only three harmonics

# TRANSFORMASI FOURIER

## Fourier Analysis



$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

Fourier Transform

Time domain  $\rightarrow$  Frequency Domain

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) e^{j2\pi ft} df$$

Inverse Fourier Transform

Frequency domain  $\rightarrow$  Time Domain

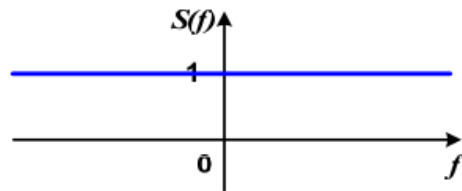
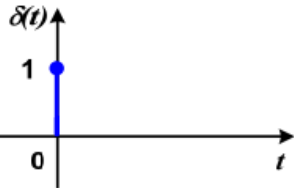


# TRANSFORMASI FOURIER

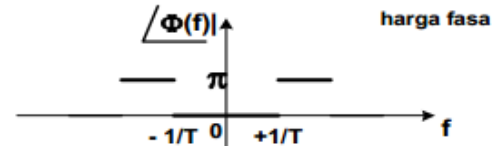
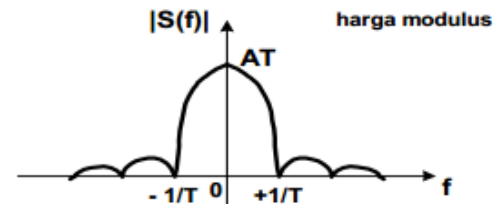
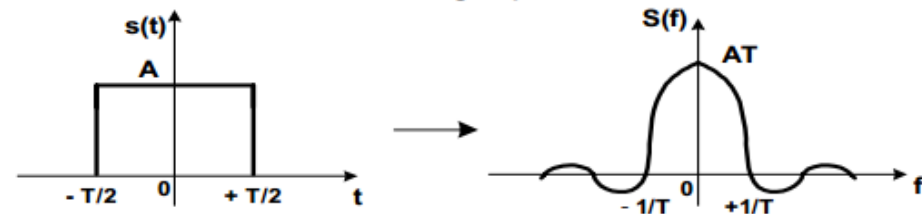
## Beberapa Transformasi Penting

### Signal Delta Dirac (Impulse)

$$S(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt = 1$$



### Signal Pulsa



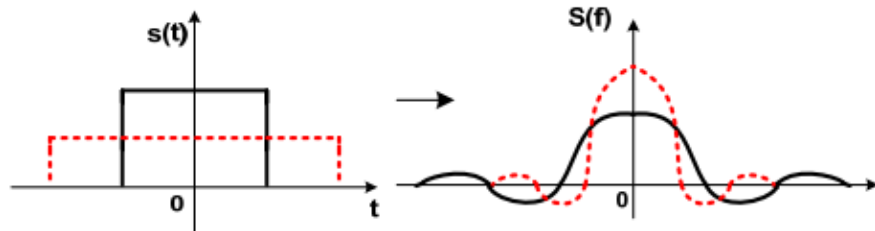
# TRANSFORMASI FOURIER

## Sifat Penting Transformasi Fourier

### Time Scaling

$$s(t) \Leftrightarrow S(f)$$

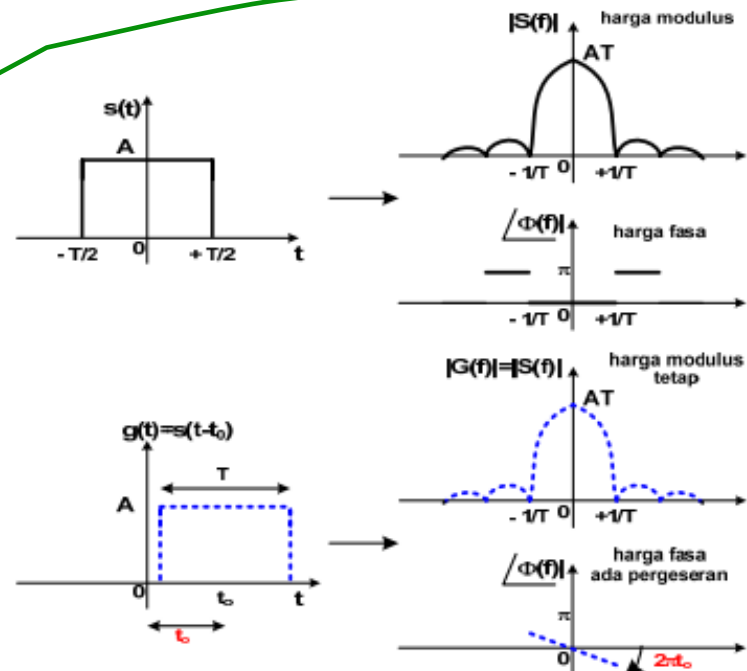
$$s(at) \Leftrightarrow \frac{1}{|a|} S\left(\frac{f}{a}\right)$$



### Time Shifting

$$x(t) \Leftrightarrow X(f)$$

$$x(t - t_0) \Leftrightarrow X(f) e^{-j2\pi f t_0}$$



# TRANSFORMASI FOURIER

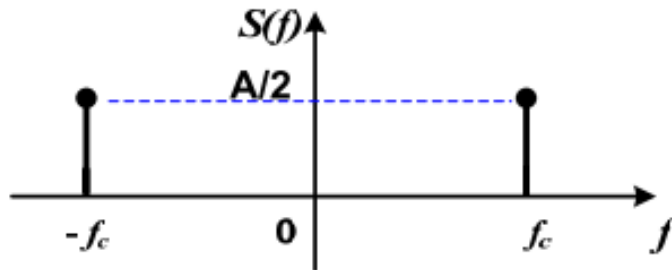
## Sifat Penting Transformasi Fourier

### Frequency Shifting

Bila  $s(t) \leftrightarrow S(f)$  maka  $S(f-f_c) \leftrightarrow s(t) \cdot e^{-j2\pi f_c t}$

$$\text{Contoh : } s(t) = A \cos 2\pi f_c t = \frac{A}{2} \left( e^{j2\pi f_c t} + e^{-j2\pi f_c t} \right)$$

$$\text{maka } S(f) = \frac{A}{2} \delta(f + f_c) + \frac{A}{2} \delta(f - f_c)$$



→ **spektrum  
amplitudo PADA  
PITA DUA SISI**

# TRANSFORMASI FOURIER

## Sifat Penting Transformasi Fourier

### Konvolusi di kawasan waktu

Bila  $s_1(t) \leftrightarrow S_1(f)$  dan  $s_2(t) \leftrightarrow S_2(f)$ ,

**maka :**

$$\int_{-\infty}^{\infty} s_1(t) \cdot s_2(t - \tau) d\tau \Leftrightarrow S_1(f) \cdot S_2(f)$$

### Perkalian di kawasan waktu

Bila  $s_1(t) \leftrightarrow S_1(f)$  dan  $s_2(t) \leftrightarrow S_2(f)$ ,

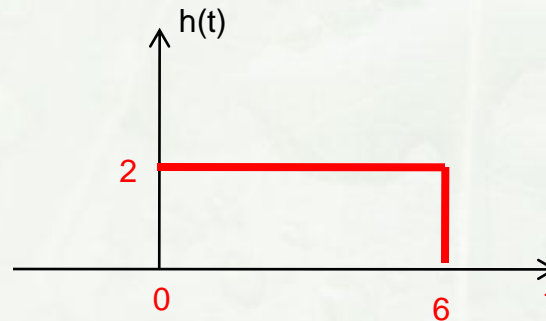
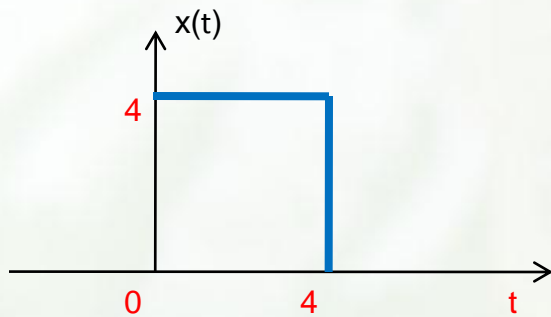
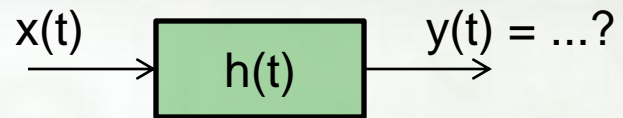
**maka :**

$$s_1(t) \cdot s_2(t) \Leftrightarrow \int_{-\infty}^{\infty} S_1(\lambda) \cdot S_2(f - \lambda) d\lambda$$

# TRANSFORMASI FOURIER

## TUGAS 2 (Review PSTM)

[1]



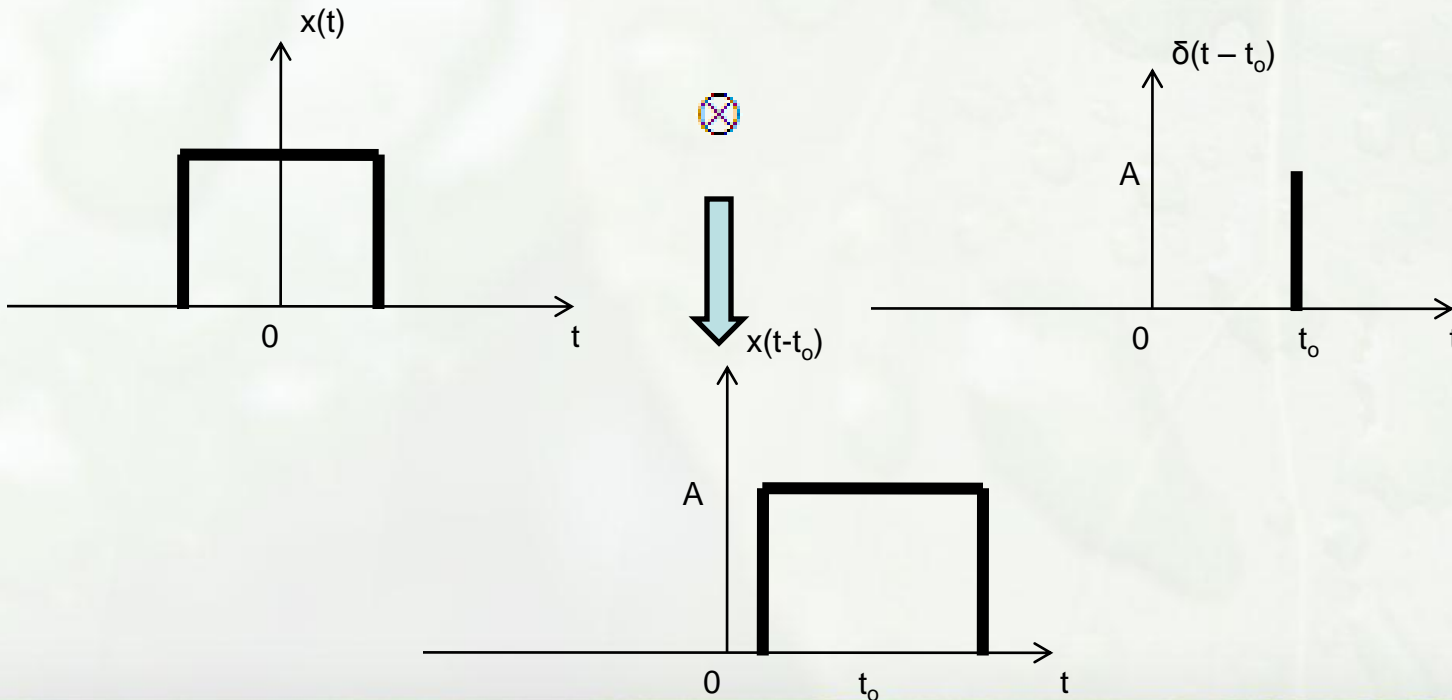
# TRANSFORMASI FOURIER

## Contoh Perhitungan Konvolusi dengan Metoda Grafis

[2] Konvolusi dengan fungsi  $\delta(t-t_0)$

$$x(t) \otimes \delta(t-t_0) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t-\lambda) \cdot \delta(t-t_0) d\lambda = x(t-t_0)$$

$$x(t) \otimes A\delta(t-t_0) = A \cdot x(t-t_0)$$



# OUTLINE

---

## Modulasi, Demodulasi, Kinerja Sistem Amplitude Modulation (AM)

---

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Mengapa Perlu Modulasi?

- Meminimalisasi interferensi sinyal pada pengiriman informasi yang menggunakan frequency sama atau berdekatan
- Dimensi antenna menjadi lebih mudah diwujudkan
- Sinyal termodulasi dapat dimultiplexing dan ditransmisikan via sebuah saluran transmisi

Modulasi adalah pengaturan parameter dari sinyal pembawa (carrier) yang berfrekuensi tinggi sesuai sinyal informasi (pemodulasi) yang frekuensinya lebih rendah, sehingga informasi tadi dapat disampaikan.



# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Persamaan Sinyal Pembawa/Carrier

Persamaan Sinyal Pembawa/ Carrier:

$$V_c(t) = V_c \sin (\omega_c t + \theta)$$

Amplitude modulation (AM)

Modulasi Sudut (Angle Modulation)

$$(\omega_c t + \theta)$$

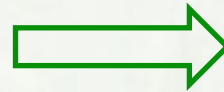
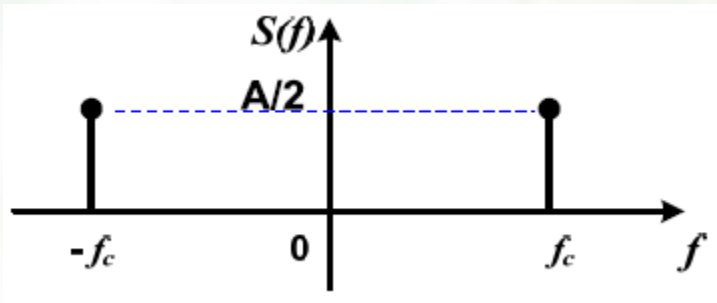
Frequency Modulation  
(FM)

Phase Modulation  
(PM)

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Review Kawasan Waktu $\leftrightarrow$ Frekuensi?

$$s(t) = A \cos 2\pi f_c t$$

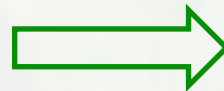
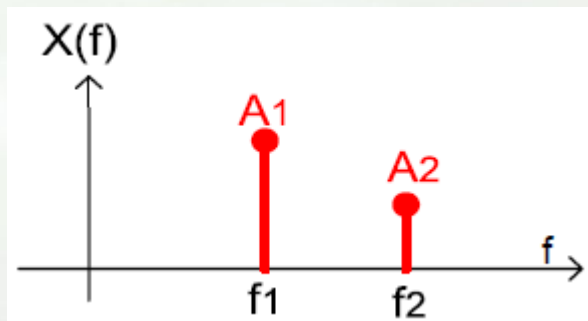


Gambar spektrum sinyal diturunkan dari persamaan sinyal kawasan frekuensi

→ **spektrum amplitudo PADA PITA DUA SISI**

$$x(t) = A_1 \cos(2\pi f_1 t) + A_2 \cos(2\pi f_2 t)$$

$$X(f) = A_1 \delta(f-f_1) + A_2 \delta(f-f_2)$$



Gambar spektrum sinyal diturunkan dari persamaan sinyal kawasan frekuensi

→ **spektrum amplitudo PADA FREKUENSI POSITIF / PITA SATU SISI**

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Modulasi Amplituda (AM)

Pada AM, amplitudo dibuat berubah sesuai sinyal informasi, sedang fiasanya dibuat nol.

sehingga persamaan sinyal termodulasi secara umum adalah:

$$S_{AM}(t) = m(t) \cos \omega_c t$$

$m(t)$  = sinyal informasi / pemodulasi

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Varian dari Modulasi Amplitudo

1. Double Side Band **Full Carrier (DSB-FC)**
2. Double Side Band **Suppressed Carrier (DSB-SC)**
3. Single Side Band (SSB)
4. Vestigial Side Band (VSB)

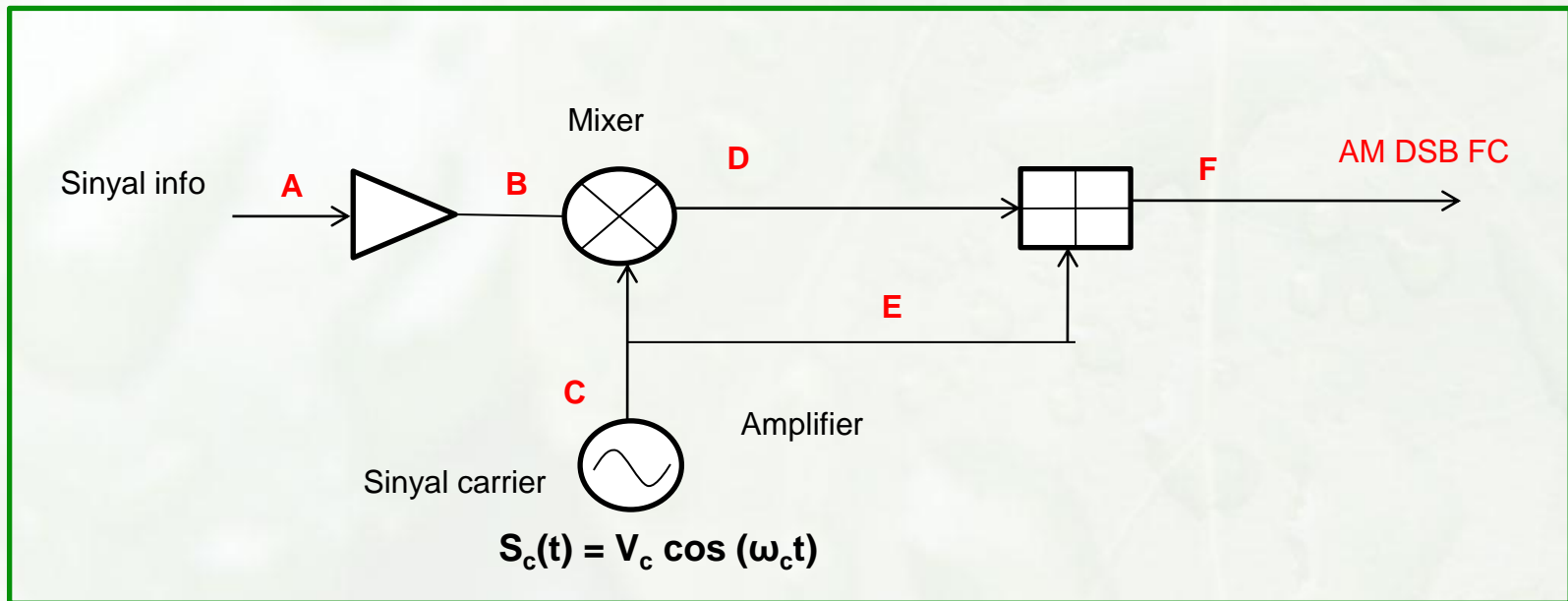


AM-DSB-FC

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## AM-DSB-FC

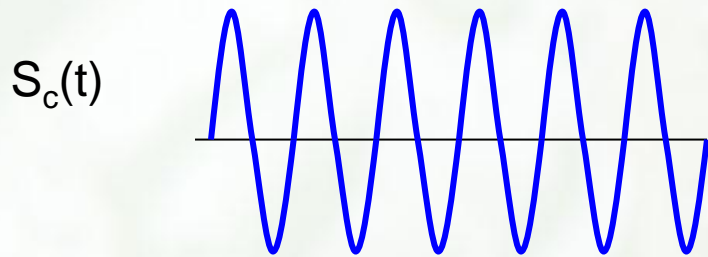
### “Diagram Blok Modulasi AM-DSB-FC”



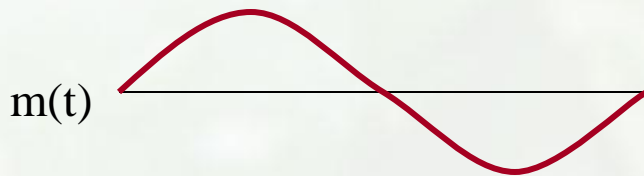
# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## AM-DSB-FC

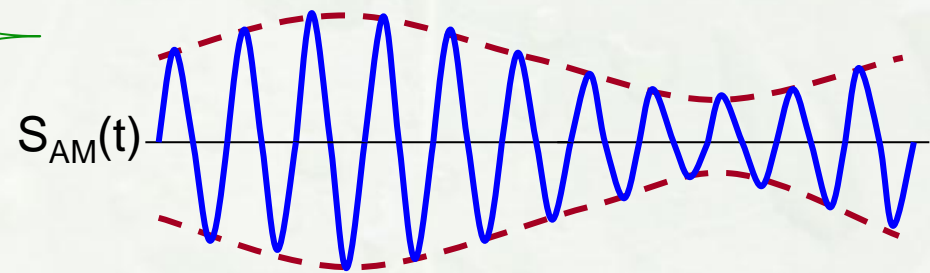
Pembawa :  $S_c(t) = V_c \cos(\omega_c t)$



Pemodulasi :  $m(t)$



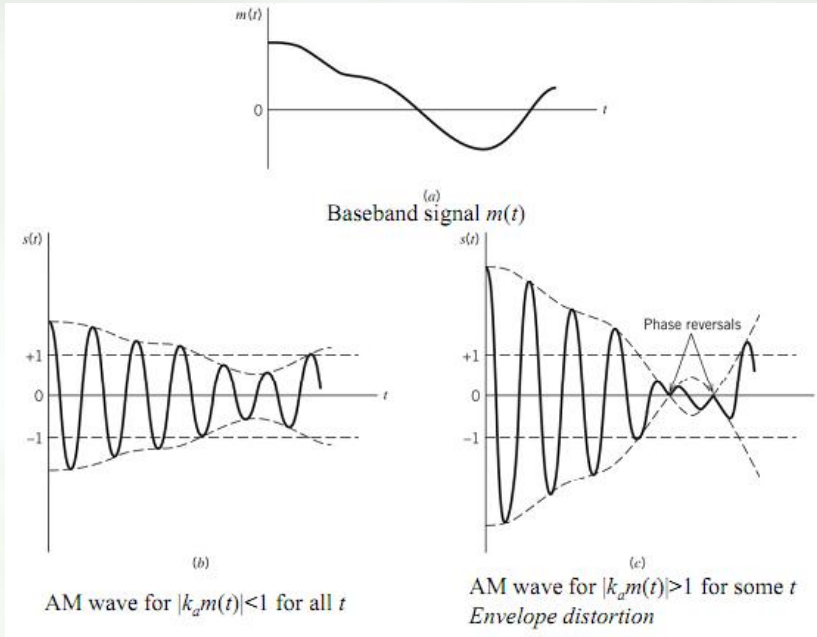
$$S_{AM}(t) = V_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$



$k_a$  = sensitivitas Amplituda [per volt]

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## AM-DSB-FC



### Syarat Modulasi AM :

$$S_{AM}(t) = V_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$

- ❑  $|k_a m(t)| \leq 1 \rightarrow$  tidak terjadi 'over modulasi'  $\rightarrow$  menghindari Envelope Distortion
- ❑  $f_c \gg f_m \rightarrow$  agar bentuk envelope bisa dilihat ( $f_m$  adalah komponen frekuensi tertinggi dari informasi)



# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## AM-DSB-FC → Pemodulasi Sinusoidal Tunggal

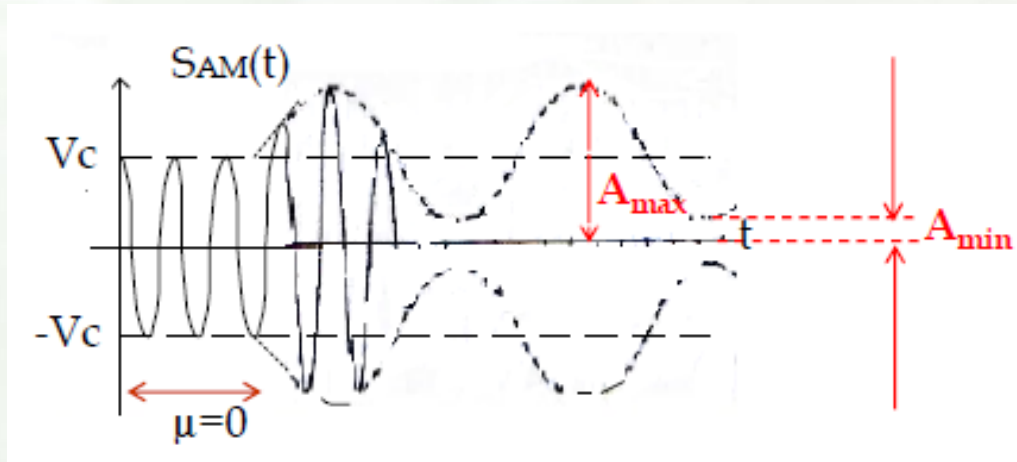
$$m(t) = V_m \cos(2\pi f_m t)$$

$$S_c(t) = V_c \cos(2\pi f_c t)$$



$$\begin{aligned} S_{AM}(t) &= V_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t) \\ &= V_c [1 + k_a V_m \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t) \\ &= V_c [1 + \mu \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t) \end{aligned}$$

$$m = \mu = \text{indeks modulasi} = K_a V_m$$



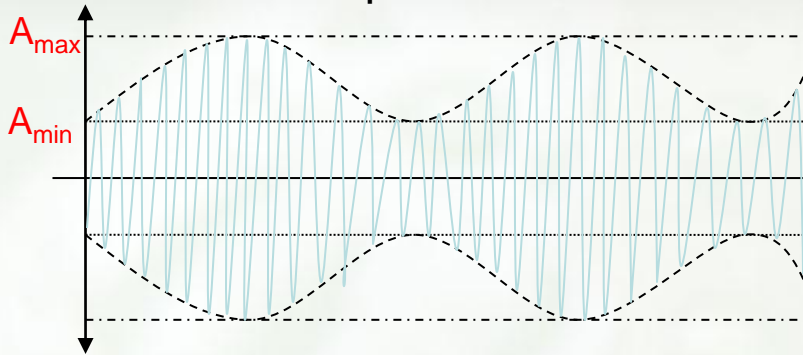
$$\mu = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}}$$

$$V_c = \frac{A_{\max} + A_{\min}}{2}$$

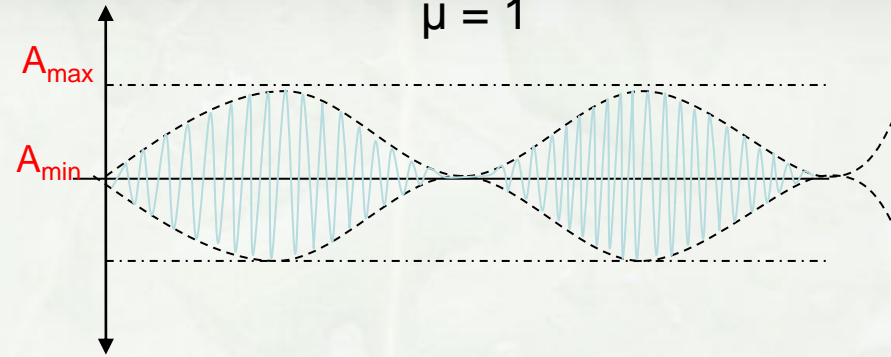
# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Indeks Modulasi AM-DSB-FC

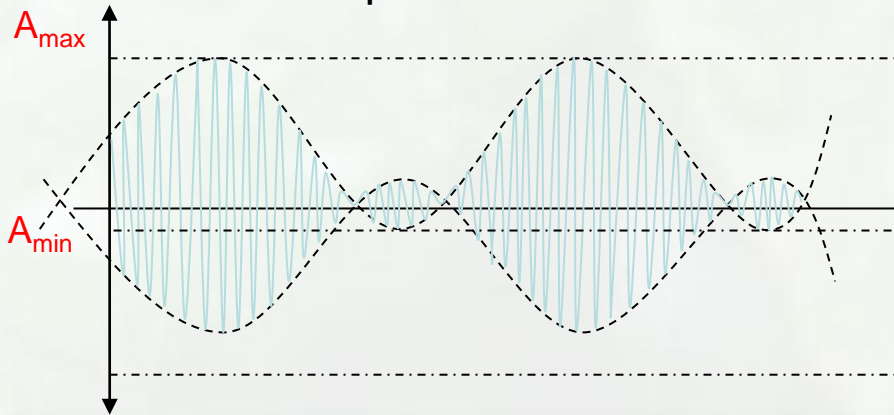
$\mu < 1$



$\mu = 1$



$\mu > 1$



$$\mu = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}}$$

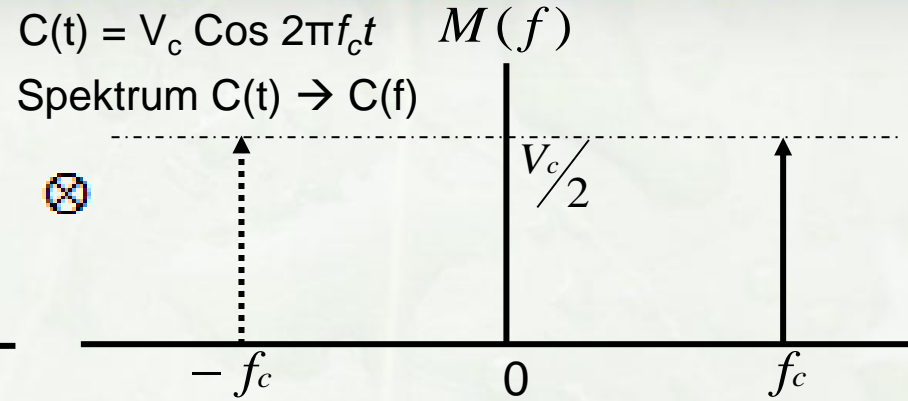
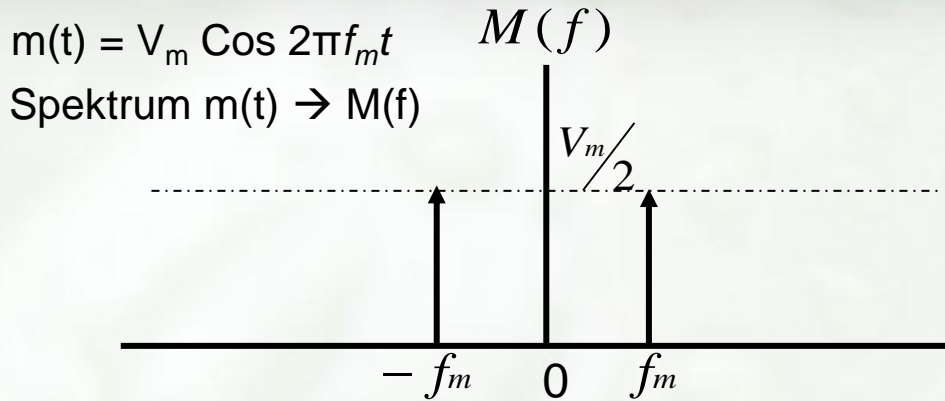


**OVER MODULATION**

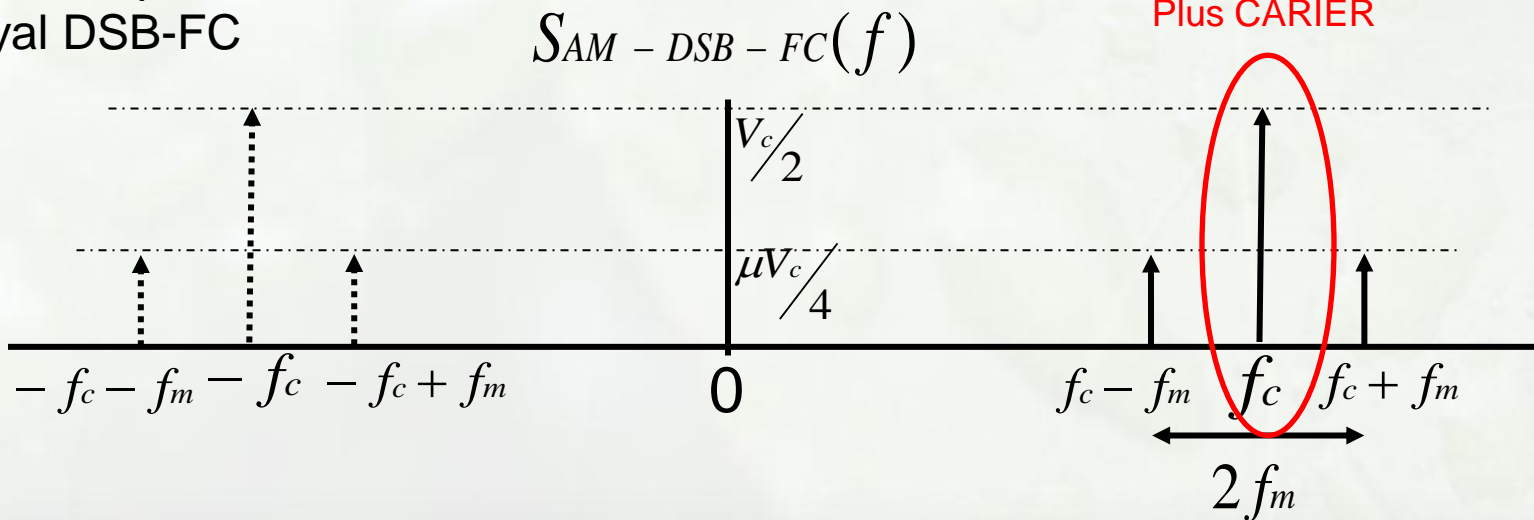
# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Spektrum AM DSB FC

dengan informasi sinyal sinusoidal tunggal  $m(t) \leftrightarrow M(f)$



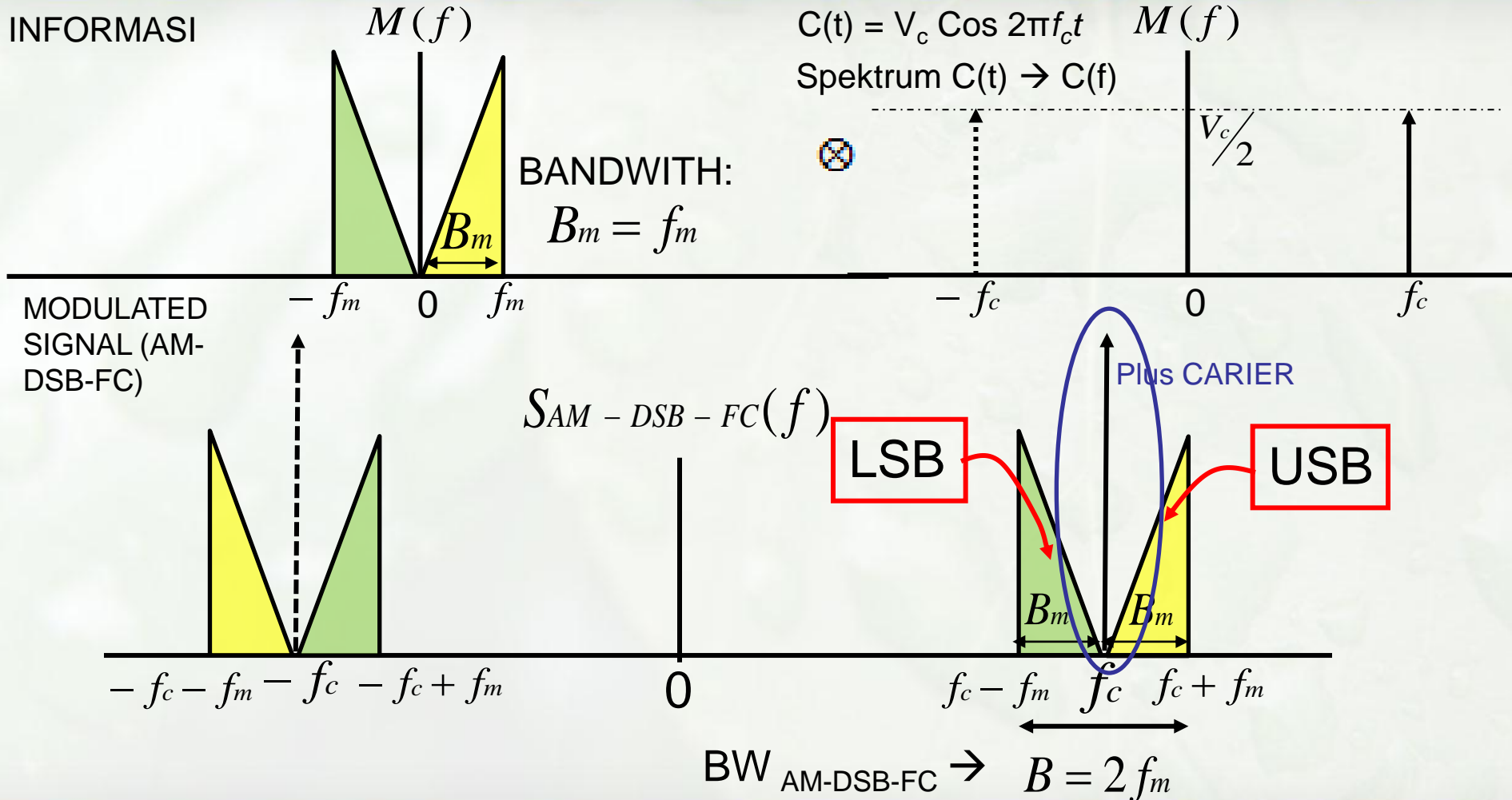
Gambar Spektrum Sinyal DSB-FC



# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Spektrum AM DSB FC

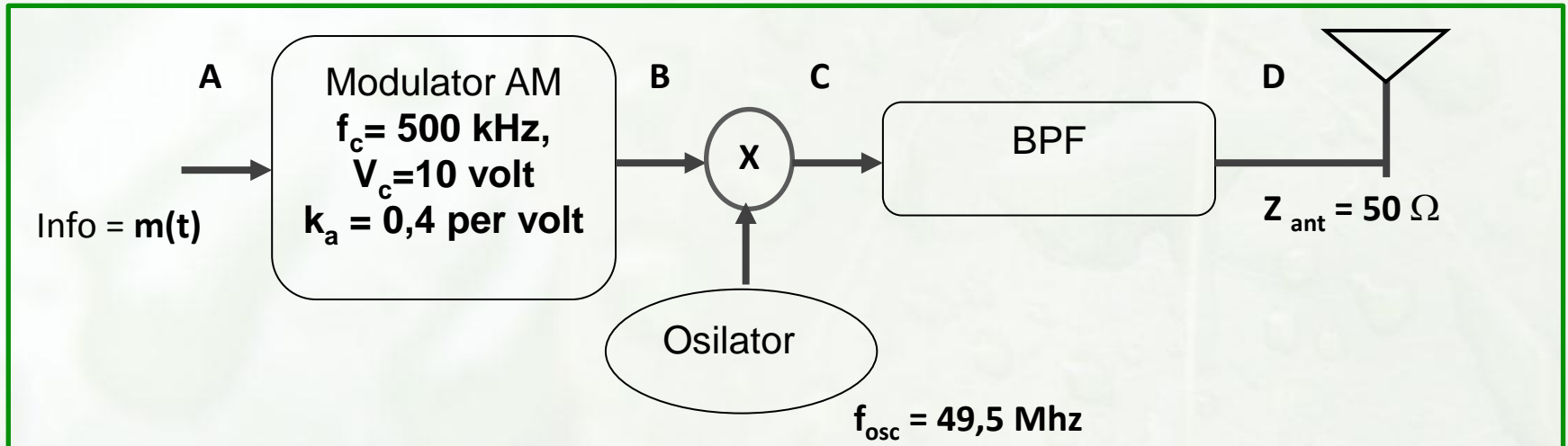
dengan informasi sinyal sembarang  $m(t) \leftrightarrow M(f)$



# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Contoh Soal

Perhatikan pemancar AM-DSB-FC pada frekuensi radio 50 MHz (di titik D) dengan diagram blok sbb :



Persamaan umum sinyal AM-DSB-FC (di B atau di D) adalah:  $V_{AM}(t) = V_c [ 1 + k_a m(t) ] \cos(2\pi f_c t)$

- gambarkan gelombang** sinyal AM DSB-FC (di B) pada gambar diatas, Jika  $m(t) = 1 \cos(2\pi \cdot 3400 \cdot t)$  ! Berikan skala amplitudo yang jelas !
- Gambarkan spektrum** sinyal AM DSB-FC di B, C dan di D !

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Daya Pada sinyal AM-DSB-FC

$$S_{AM}(t) = V_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$

$$S_{AM}(t) = V_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$

$$= V_c [1 + \mu \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t)$$

$$= V_c \cos(2\pi f_c t) + \mu V_c \cos(2\pi f_m t) \cos(2\pi f_c t)$$

$$= V_c \cos(2\pi f_c t) + \frac{\mu}{2} V_c \cos(2\pi(f_c + f_m)t) + \frac{\mu}{2} V_c \cos(2\pi(f_c - f_m)t)$$

Nilai RMS  $\rightarrow \frac{V_c}{\sqrt{2}}$

CARRIER

$\frac{\mu V_c}{2\sqrt{2}}$

USB

$\frac{\mu V_c}{2\sqrt{2}}$

LSB

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Daya Pada sinyal AM-DSB-FC

$$\begin{aligned}P_{AM_{DSB-FC}} &= P_C + P_{USB} + P_{LSB} \\&= \frac{(V_c / \sqrt{2})^2}{R} + \frac{(\mu V_c / 2\sqrt{2})^2}{R} + \frac{(\mu V_c / 2\sqrt{2})^2}{R} \\&= \frac{V_c^2}{2R} + \frac{\mu^2 V_c^2}{8R} + \frac{\mu^2 V_c^2}{8R}\end{aligned}$$

Daya pada Referensi  
Resistansi 1 ohm



$$\begin{aligned}P_{AM_{DSB-FC}} &= \frac{V_c^2}{2R} + \frac{\mu^2 V_c^2}{8R} + \frac{\mu^2 V_c^2}{8R} \\&= \frac{V_c^2}{2} + 2 \frac{\mu^2 V_c^2}{8} \\&= \frac{V_c^2}{2} + \frac{\mu^2 V_c^2}{4} = \frac{V_c^2}{2} \left( 1 + \frac{\mu^2}{2} \right) \\&= \frac{V_c^2 (2 + \mu^2)}{4}\end{aligned}$$

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

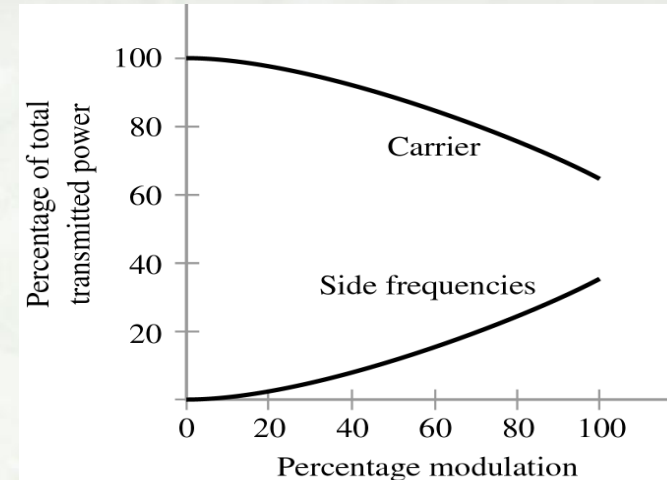
## Power Transmission Efficiency of AM-DSB-FC

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\text{total sidaband power}}{\text{Total power}} \\ &= \frac{P_{USB} + P_{LSB}}{P_C + P_{USB} + P_{LSB}} \\ &= \frac{\frac{\mu^2 V_c^2}{4}}{V_c^2 \left( \frac{2 + \mu^2}{4} \right)} = \frac{\mu^2}{2 + \mu^2}\end{aligned}$$

$\mu$	$\eta$
0,25	0,03
0,5	0,11
0,75	0,22
1	0,33



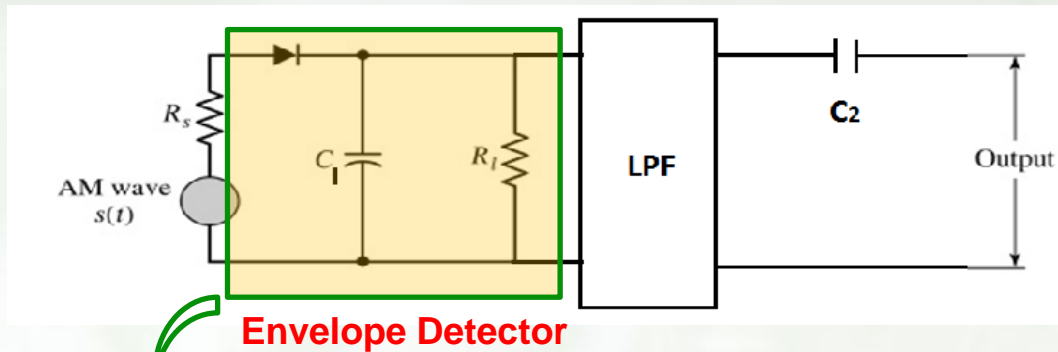
Dari Tabel Diatas bisa disimpulkan bahwa Efisiensi Power transmisi dari AM-DSB-FC meningkat jika index modulasinya  $\mu$  dinaikkan, Tetapi meskipun index modulasinya sudah maksimal  $\mu = 1$ , hanya 1/3 dayanya berada pada sideband, sedangkan 2/3 berada pada carier



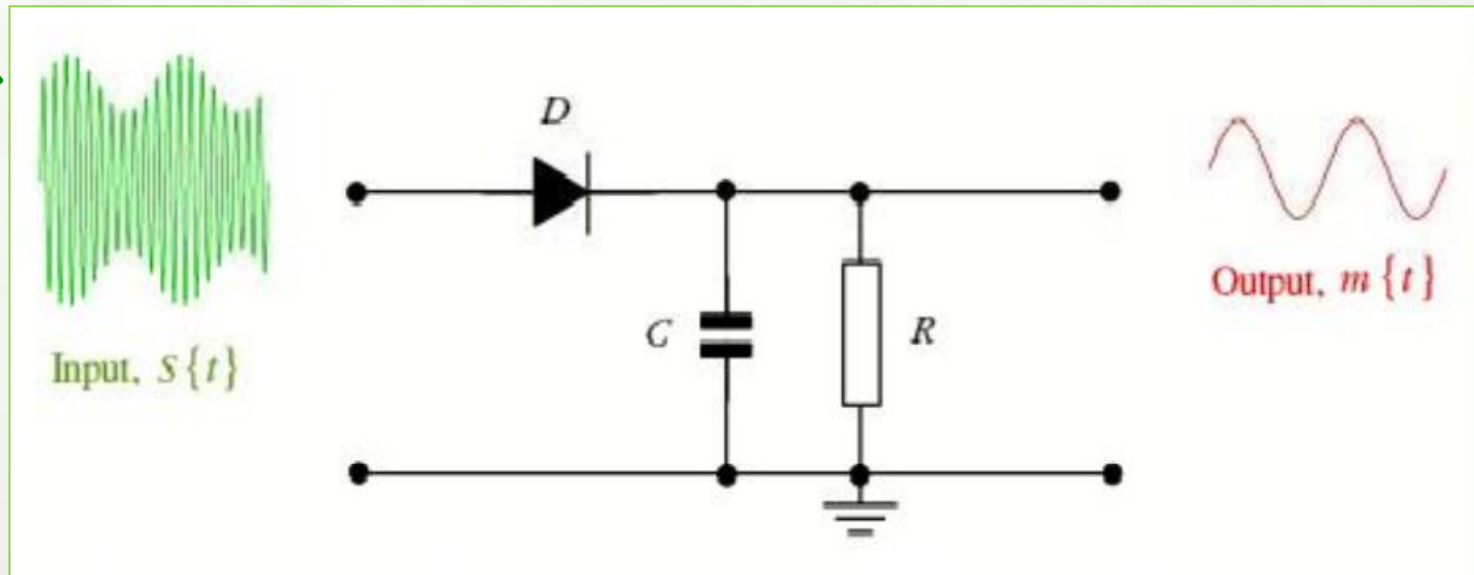


# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Demodulasi Sinyal AM-DSB-FC – Detector Selubung

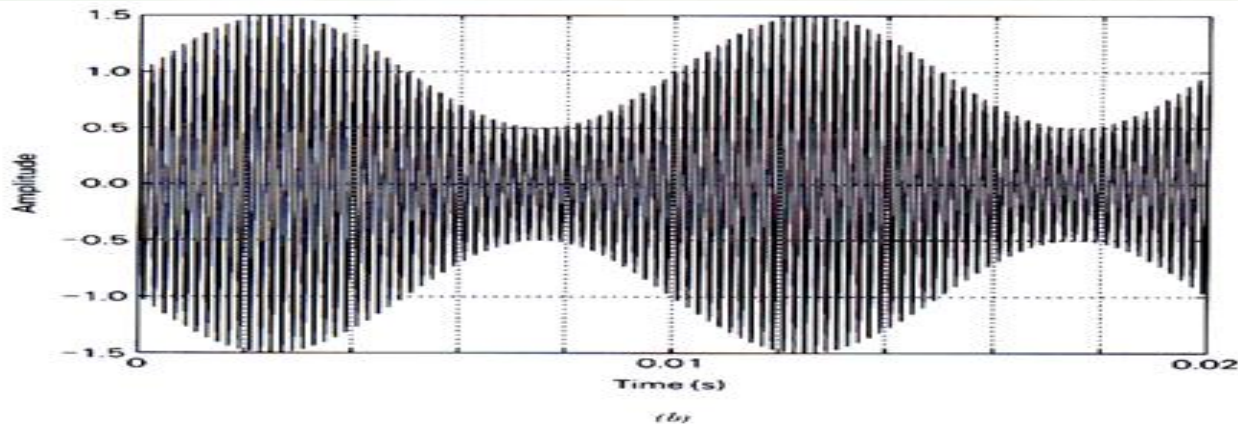


Dilakukan dengan mendeteksi selubung (envelope) sinyal termodulasinya. Alat yang digunakan disebut **Detektor Selubung (Envelope Detector)**

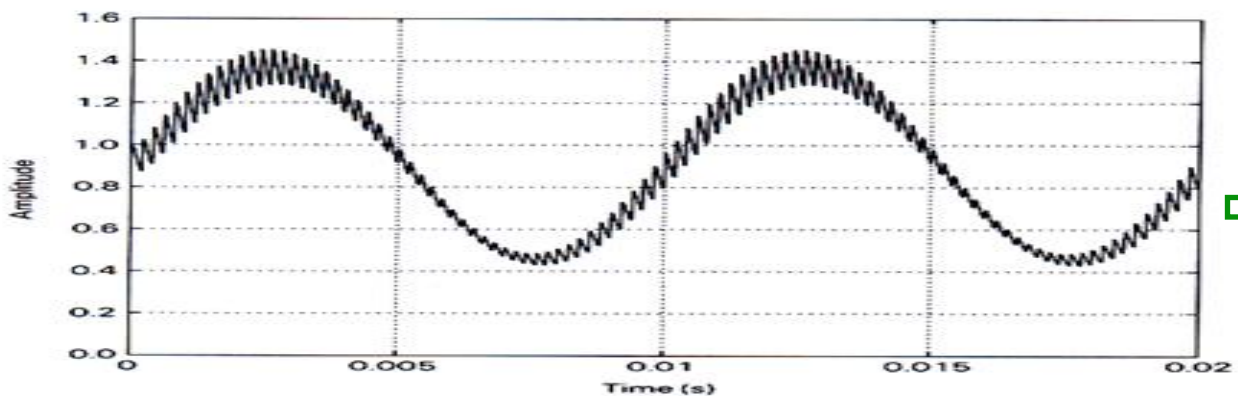


# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Demodulasi Sinyal AM-DSB-FC – Detector Selubung



Sinyal AM-DSB-FC dengan index modulasi 1/2



Output dari detektor selubung → terlihat masih ada ripple → bisa dihilangkan dengan LPF

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Kesimpulan AM-DSB-FC

- Pada AM-DSB-FC, sinyal sideband di transmisikan bersama dengan cariernya
- Sederhana dalam mendeteksi / Demodulasi → detektor selubung
- Efisiensi Power transmisi rendah
- Bandwidth yang dibutuhkan besar ( $2 \times$  BW informasi )

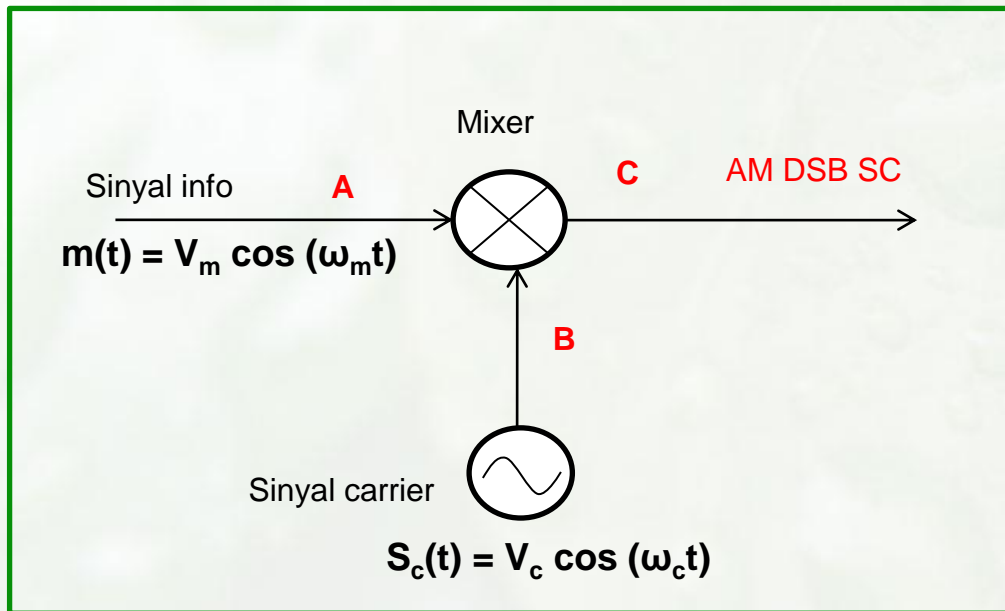


AM-DSB-SC

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## AM-DSB-SC

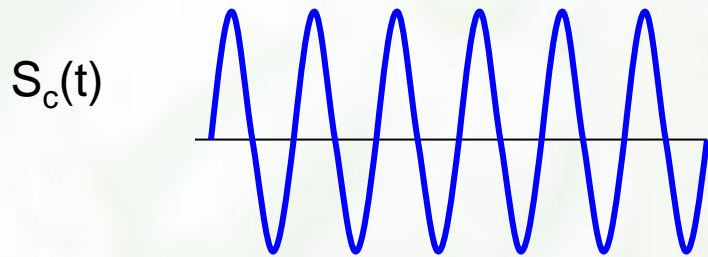
### “Diagram Blok Modulasi AM-DSB-SC”



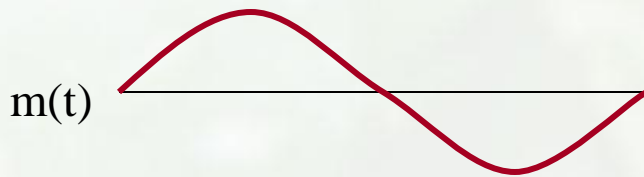
# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## AM-DSB-SC

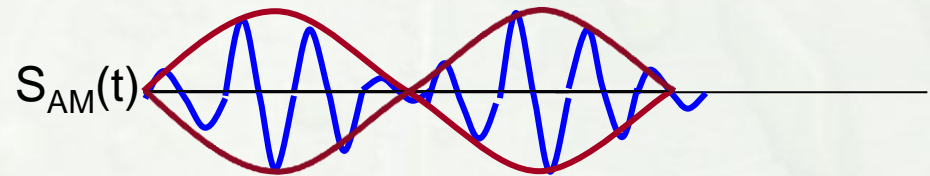
Pembawa :  $S_c(t) = V_c \cos(\omega_c t)$



Pemodulasi :  $m(t)$



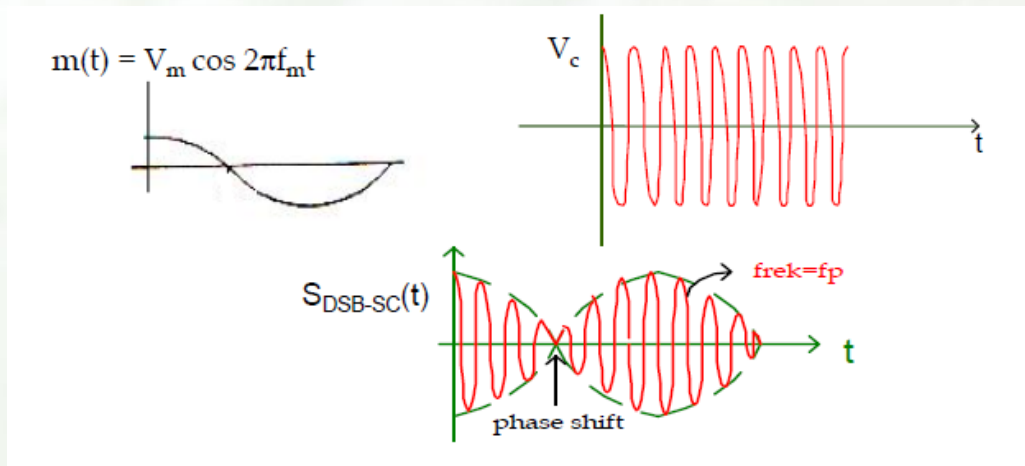
$$S_{AM_{DSB-SC}}(t) = V_c V_m \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_m t)$$



# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## AM-DSB-SC → Pemodulasi Sinusoidal Tunggal

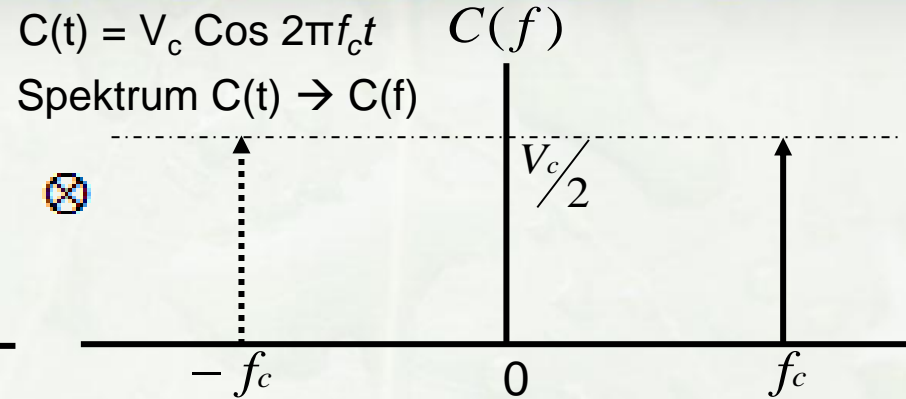
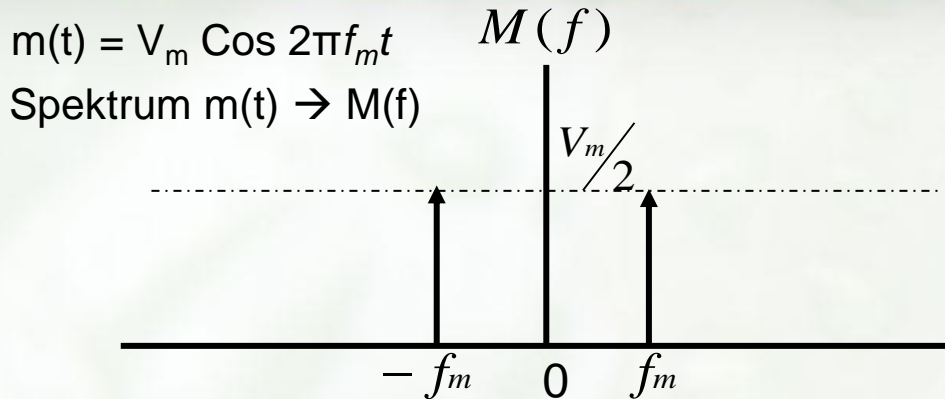
$$\left. \begin{aligned} m(t) &= V_m \cos(2\pi f_m t) \\ S_c(t) &= V_c \cos(2\pi f_c t) \end{aligned} \right\} S_{AM_{DSB-SC}}(t) = V_c V_m \cos(2\pi f_m t) \cos(2\pi f_c t) \\ = \left( \frac{V_c V_m}{2} \right) \{ \cos 2\pi(f_c + f_m)t + \cos 2\pi(f_c - f_m)t \}$$



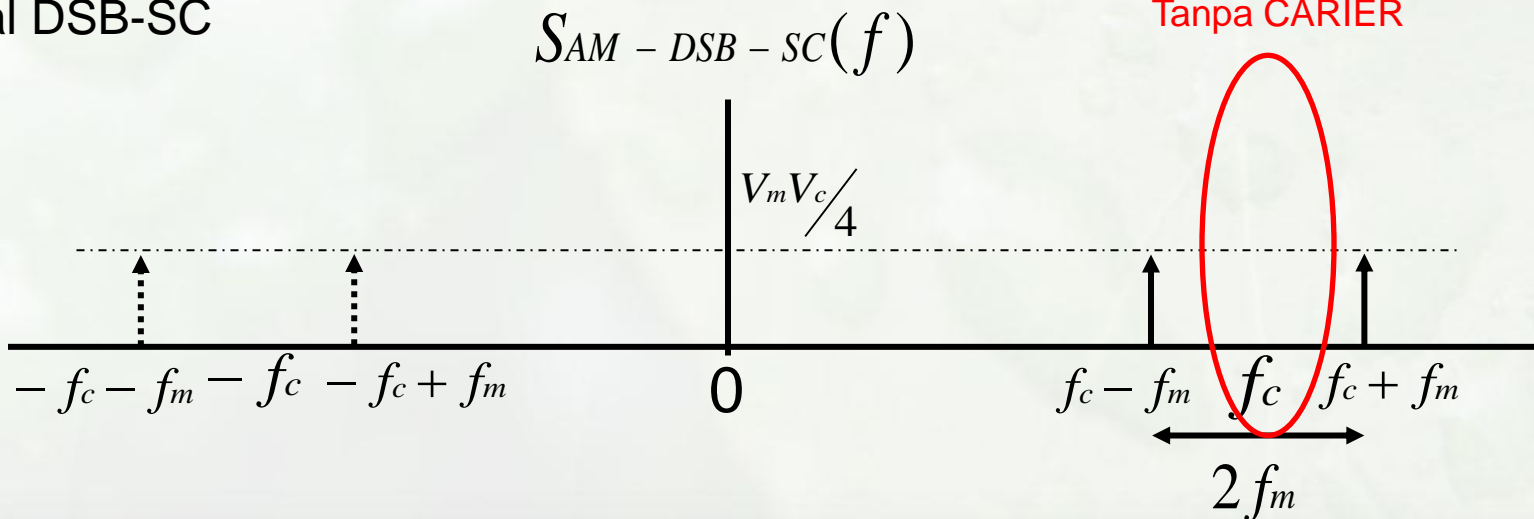
# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Spektrum AM DSB SC

dengan informasi sinyal sinusoidal tunggal  $m(t) \leftrightarrow M(f)$



Gambar Spektrum  
Sinyal DSB-SC

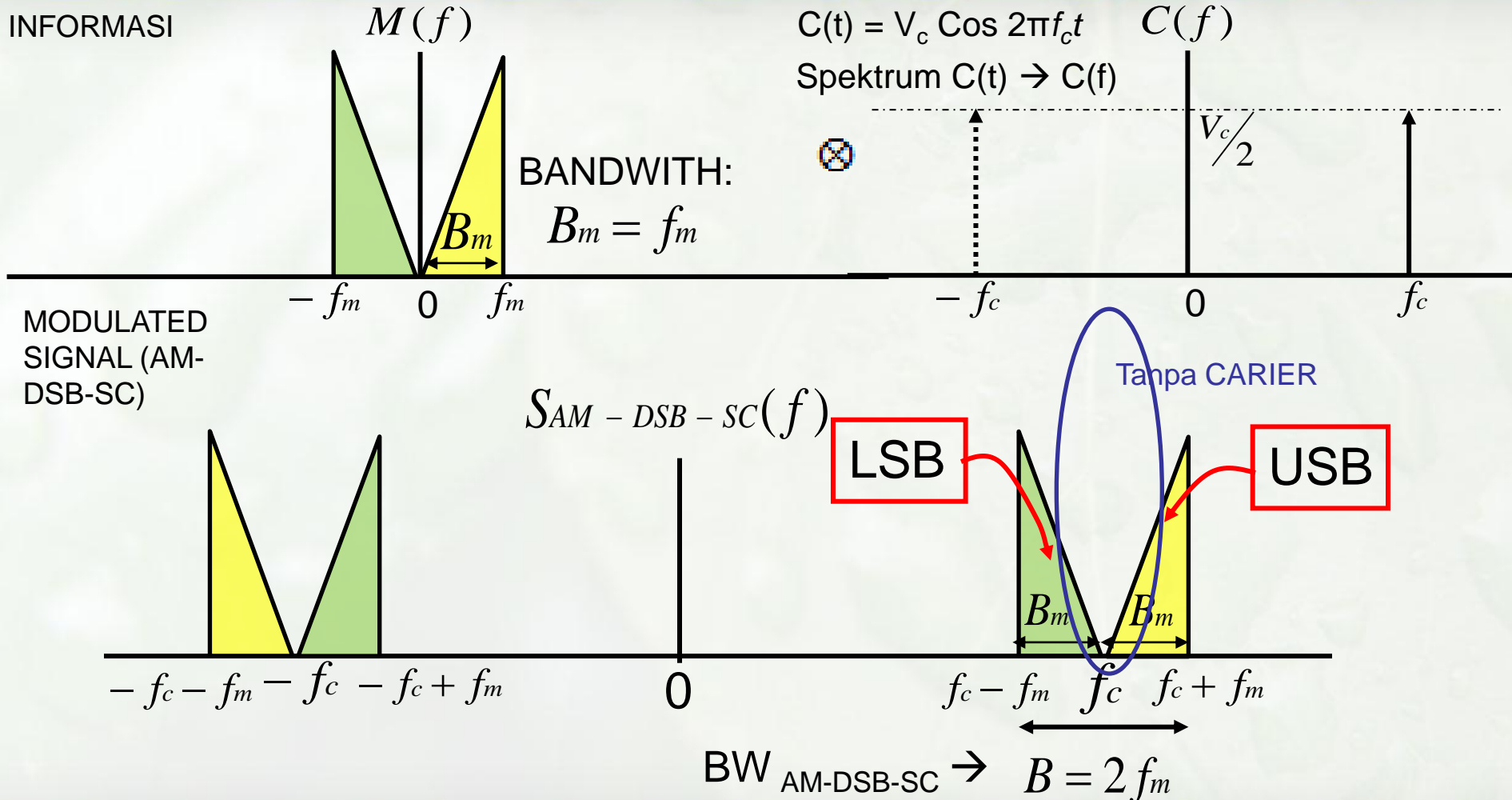




# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Spektrum AM DSB SC

dengan informasi sinyal sembarang  $m(t) \leftrightarrow M(f)$



# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Daya Pada sinyal AM-DSB-SC

$$S_{AM\ DSB-SC}(t) = V_m V_c \cos(2\pi f_m t) \cos(2\pi f_c t)$$

$$S_{AM}(t) = V_m V_c \cos(2\pi f_m t) \cos(2\pi f_c t) \\ = \frac{V_m V_c}{2} \cos(2\pi(f_c + f_m)t) + \frac{V_m V_c}{2} \cos(2\pi(f_c - f_m)t)$$

Nilai RMS  $\rightarrow$   $\frac{V_m V_c}{2\sqrt{2}}$

USB

$$\frac{V_m V_c}{2\sqrt{2}}$$

LSB

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Daya Pada sinyal AM-DSB-SC

$$\begin{aligned}P_{AM_{DSB-SC}} &= P_{USB} + P_{LSB} \\&= \frac{(V_m V_c / 2\sqrt{2})^2}{R} + \frac{(V_m V_c / 2\sqrt{2})^2}{R} \\&= \frac{V_m^2 V_c^2}{8R} + \frac{V_m^2 V_c^2}{8R}\end{aligned}$$

Daya pada Referensi  
Resistansi 1 ohm

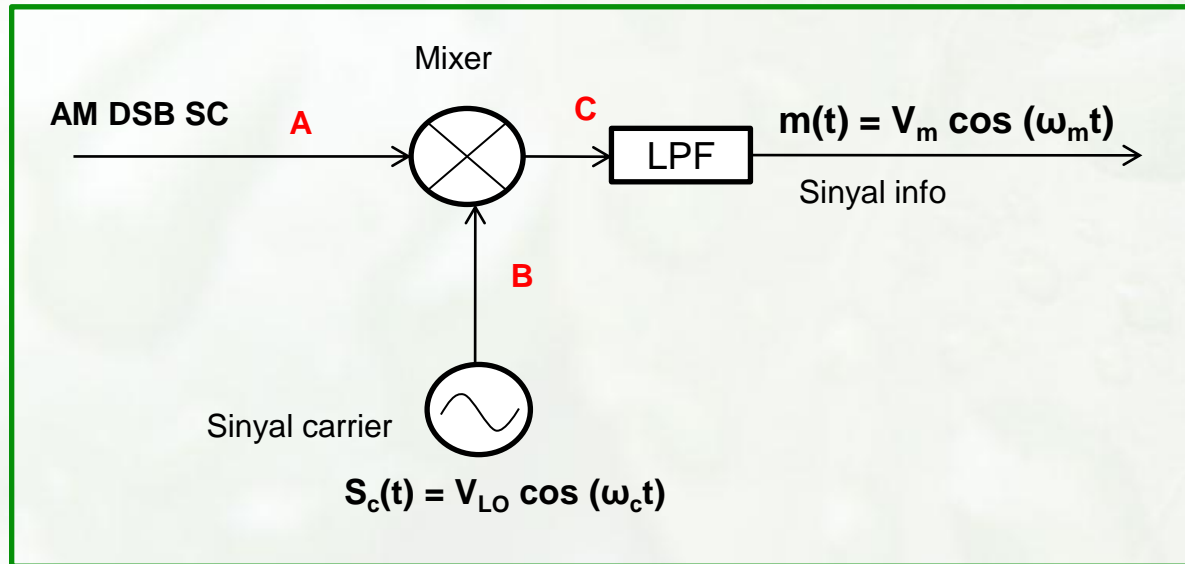


$$\begin{aligned}P_{AM_{DSB-SC}} &= \frac{V_m^2 V_c^2}{8R} + \frac{V_m^2 V_c^2}{8R} \\&= 2 \frac{V_m^2 V_c^2}{8R} = 2 \frac{V_m^2 V_c^2}{8} \\&= \frac{V_m^2 V_c^2}{4}\end{aligned}$$

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Demodulasi/Deteksi Sinyal DSB-SC

- ❑ Proses demodulasi dilakukan dengan mengalikan sinyal carrier termodulasi dengan sinyal local oscillator (pada penerima) yang sama persis dengan sinyal oscillator pada pemancar, kemudian memasukan hasilnya ke sebuah low pass filter (LPF)



- ❑ Syarat penting :Local Oscillator harus menghasilkan sinyal  $\cos \omega_c t$  yang frequency dan phasa nya sama dengan yang dihasilkan oleh oscillator pada pemancar
  - ❑ Synchronous Demodulation/Detection
  - ❑ Coherent detection

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Demodulasi/Deteksi Sinyal DSB-SC



$$S_{AM_{DSB-SC}}(t) = V_c V_m \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_m t)$$

### Sinyal di C

$$S_{di C}(t) = V_m V_c \cos(2\pi f_m t) \cos(2\pi f_c t) V_{LO} \cos(2\pi f_c t)$$

$$= \left( \frac{V_m V_c}{2} \cos(2\pi(f_c + f_m)t) + \frac{V_m V_c}{2} \cos(2\pi(f_c - f_m)t) \right) V_{LO} \cos(2\pi f_c t)$$

$$= \frac{V_m V_c V_{LO}}{2} \cos(2\pi(f_c + f_m)t) \cos(2\pi f_c t) + \frac{V_m V_c V_{LO}}{2} \cos(2\pi(f_c - f_m)t) \cos(2\pi f_c t)$$

$$= \frac{V_m V_c V_{LO}}{4} \cos(2\pi(2f_c + f_m)t) + \frac{V_m V_c V_{LO}}{4} \cos(2\pi(f_m)t) +$$

$$\frac{V_m V_c V_{LO}}{4} \cos(2\pi(2f_c - f_m)t) + \frac{V_m V_c V_{LO}}{4} \cos(2\pi(-f_m)t)$$

### Sinyal di D

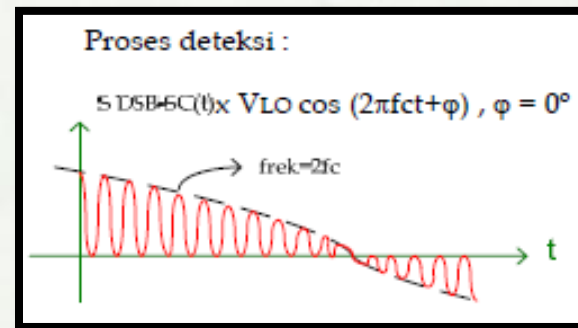
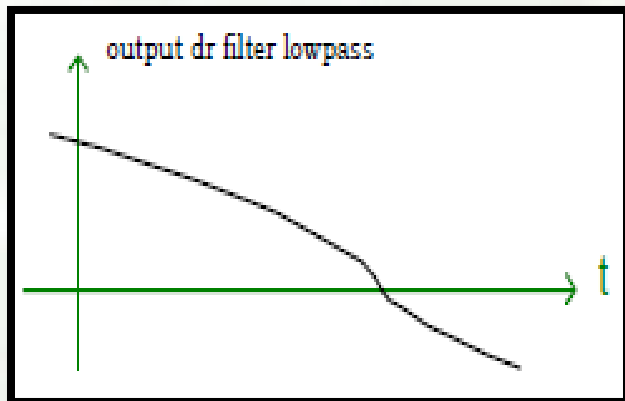
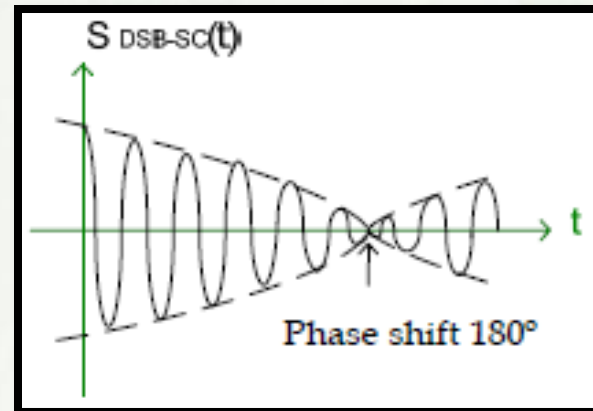
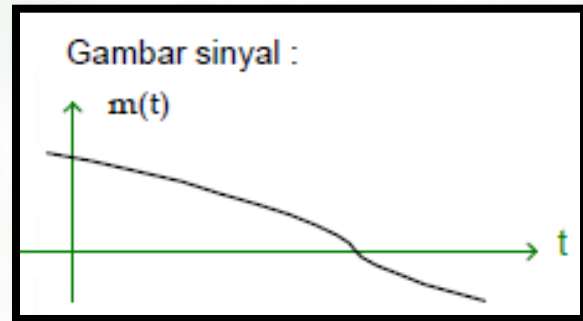
$$S_{di D}(t) = \frac{V_m V_c V_{LO}}{4} \cos(2\pi f_m t) + \frac{V_m V_c V_{LO}}{4} \cos(2\pi f_m t) = \frac{V_m V_c V_{LO}}{2} \cos(2\pi f_m t)$$

Yang Lolos dari LPF

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Modulasi AM-DSB-SC

(informasi/pemodulasi sembarang  $m(t)$  – analisa kawasan waktu)

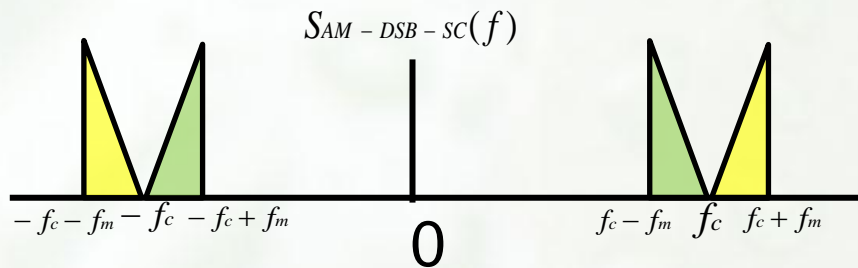


# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Modulasi AM-DSB-SC

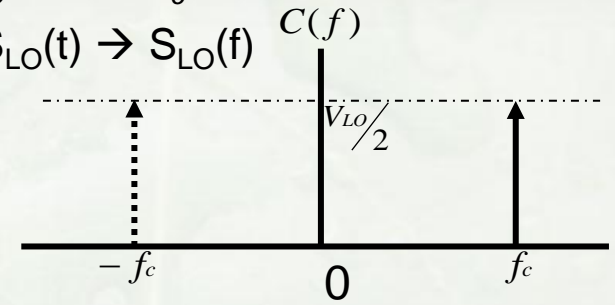
(informasi/pemodulasi sembarang  $m(t)$  – analisa kawasan frekuensi)

MODULATED SIGNAL (AM-DSB-SC)

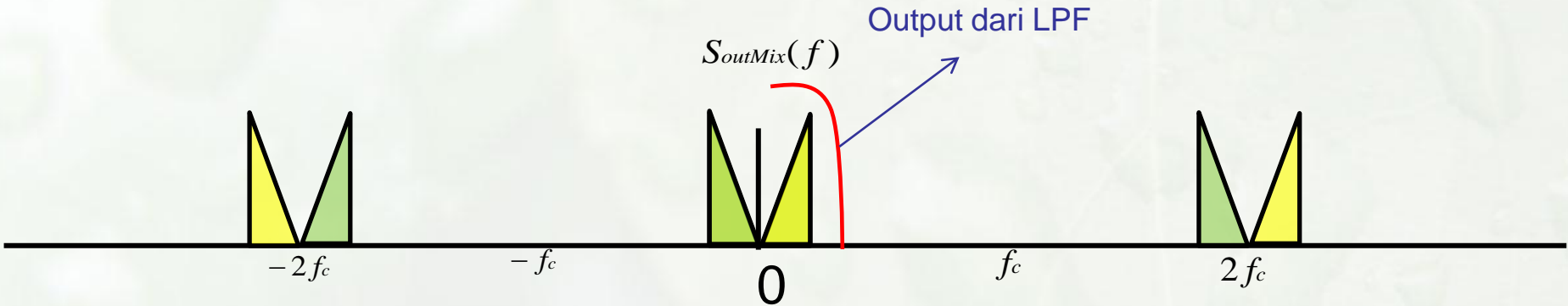


$$S_{LO}(t) = V_{LO} \cos 2\pi f_c t$$

Spektrum  $S_{LO}(t) \rightarrow S_{LO}(f)$



Output demodulator



# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Kesimpulan AM-DSB-SC

- ❑ Less transmitted power than AM-DSB-FC and all the transmitted power is useful.
- ❑ Requires a coherent carrier at the receiver; This results in increased complexity in the detector(i.e. synchroniser)



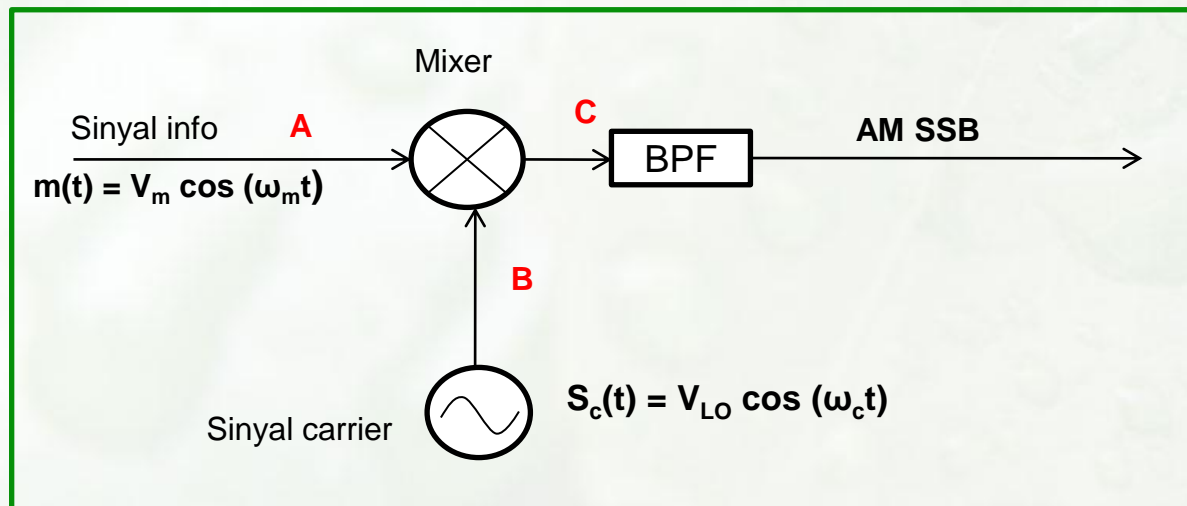


AM-SSB

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## AM-SSB (Single Side Band)

### “Diagram Blok Modulasi AM-SSB”



- ❑ Dikembangkan karena DSB-SC membutuhkan Bandwidth yang besar (2 kali bandwidth sinyal informasi)
- ❑ Ternyata USB atau LSB mengandung informasi yang lengkap, sehingga dirasa cukup mentransmisikan salah satu side band saja
- ❑ Dua tipe AM-SSB → AM-SSB-USB dan AM-SSB-LSB

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## AM-SSB → Pemodulasi Sinusoidal Tunggal

$$\left. \begin{aligned} m(t) &= V_m \cos(2\pi f_m t) \\ S_c(t) &= V_c \cos(2\pi f_c t) \end{aligned} \right\} S_{AM_{SSB}}(t) = V_c V_m \cos(2\pi f_m t) \cos(2\pi f_c t)$$
$$= \left( \frac{V_c V_m}{2} \right) \{ \cos 2\pi(f_c + f_m)t + \cos 2\pi(f_c - f_m)t \}$$
$$= \frac{V_c V_m}{2} \cos 2\pi(f_c + f_m)t \rightarrow \text{KASUS AM-SSB-USB}$$
$$= \frac{V_c V_m}{2} \cos 2\pi(f_c - f_m)t \rightarrow \text{KASUS AM-SSB-LSB}$$

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Daya Pada sinyal AM-SSB

$$S_{AM\ SSB}(t) = V_m V_c \cos(2\pi f_m t) \cos(2\pi f_c t)$$

$$S_{AM}(t) = V_m V_c \cos(2\pi f_m t) \cos(2\pi f_c t)$$
$$= \frac{V_m V_c}{2} \cos(2\pi(f_c + f_m)t) + \frac{V_m V_c}{2} \cos(2\pi(f_c - f_m)t)$$

Nilai RMS →  $\frac{V_m V_c}{2\sqrt{2}}$

USB

$\frac{V_m V_c}{2\sqrt{2}}$

LSB

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Daya Pada sinyal AM-DSB-SC

$$\begin{aligned}P_{AM_{SSB-USB}} &= P_{AM_{SSB-LSB}} = P_{USB} = P_{LSB} \\ &= \frac{(V_m V_c / 2\sqrt{2})^2}{R} \\ &= \frac{V_m^2 V_c^2}{8R}\end{aligned}$$

Daya pada Referensi  
Resistansi 1 ohm

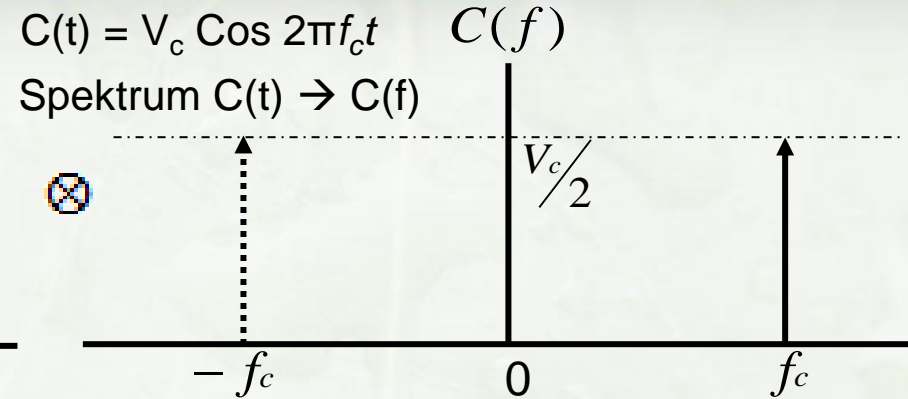
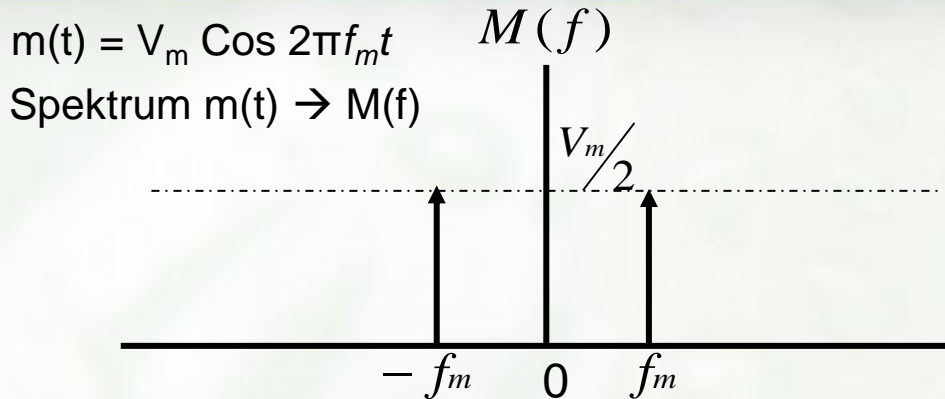


$$\begin{aligned}P_{AM_{SSB-USB}} &= P_{AM_{SSB-LSB}} = \frac{V_m^2 V_c^2}{8R} \\ &= \frac{V_m^2 V_c^2}{8}\end{aligned}$$

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

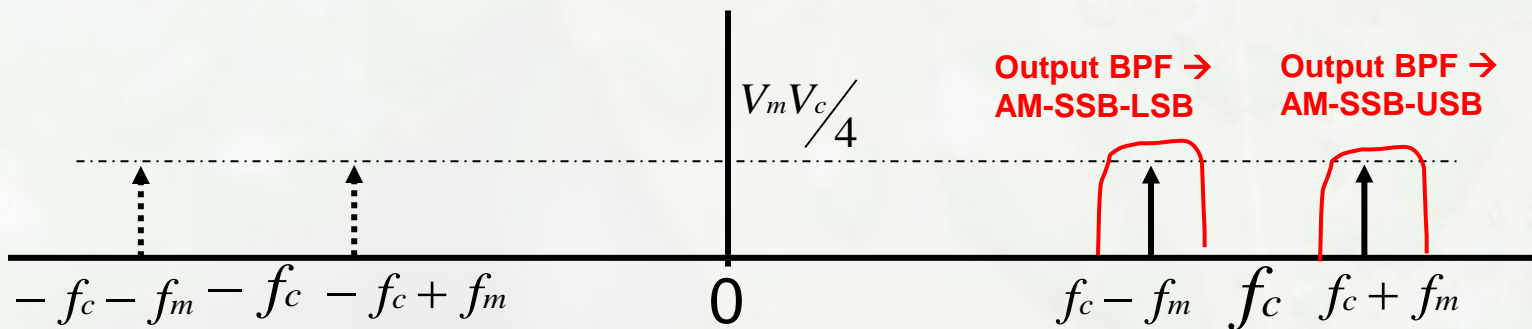
## Spektrum AM SSB

dengan informasi sinyal sinusoidal tunggal  $m(t) \leftrightarrow M(f)$



Gambar Spektrum  
Sinyal DSB-SC

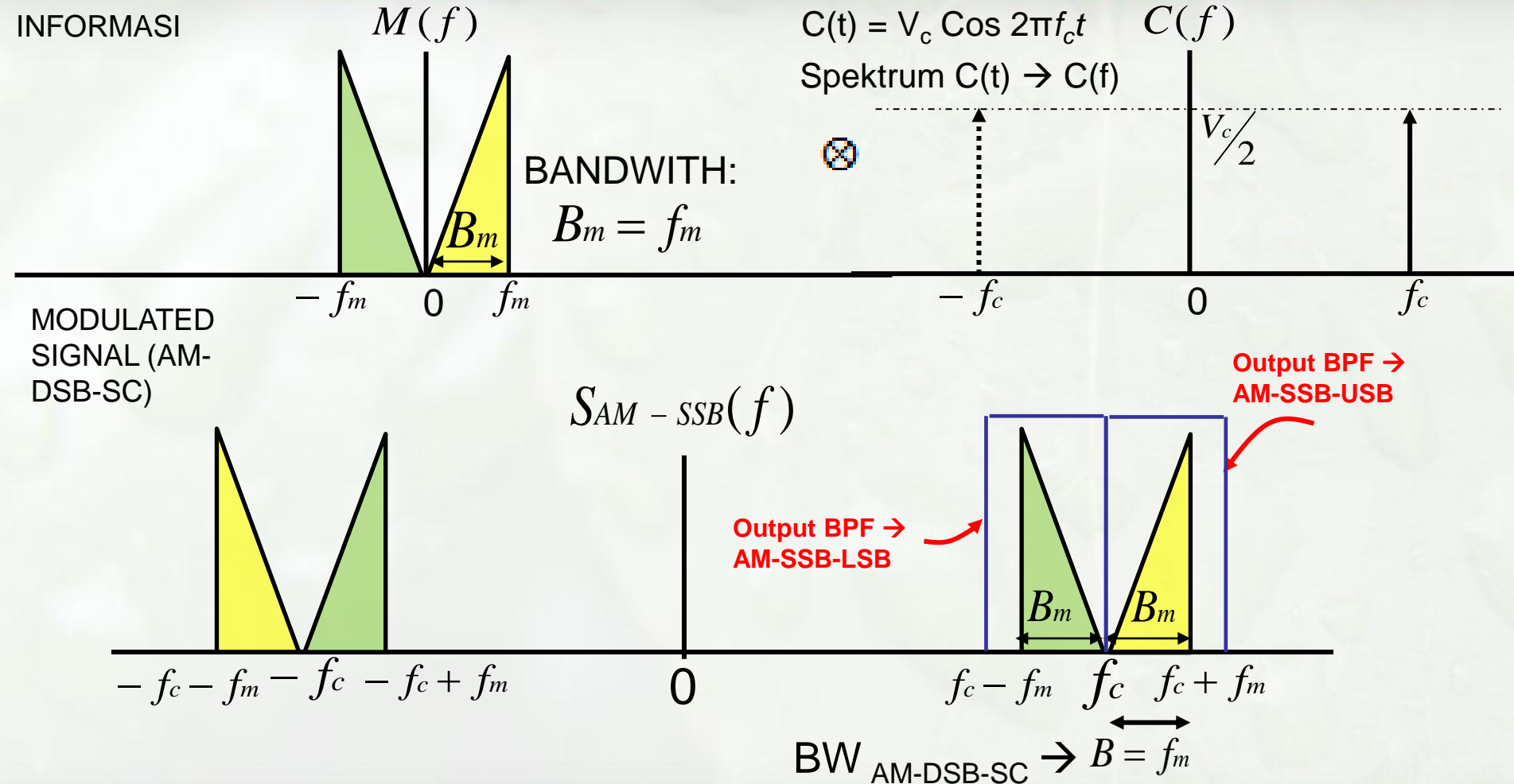
$$S_{AM-DSB-SC}(f)$$



# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Spektrum AM SSB

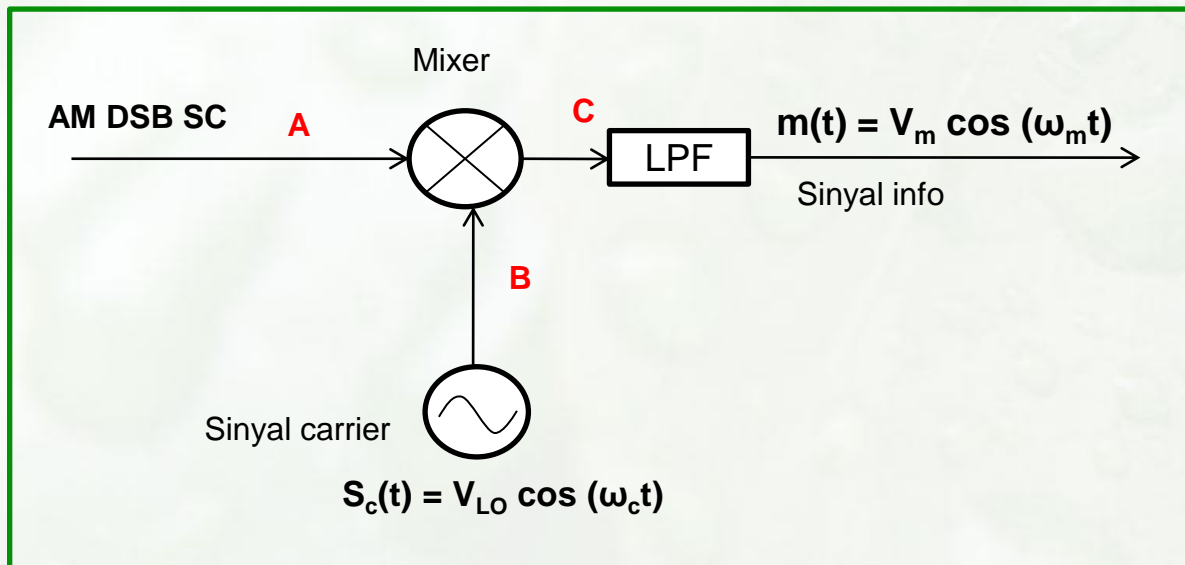
dengan informasi sinyal sembarang  $m(t) \leftrightarrow M(f)$



# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Demodulasi/Deteksi Sinyal AM-SSB

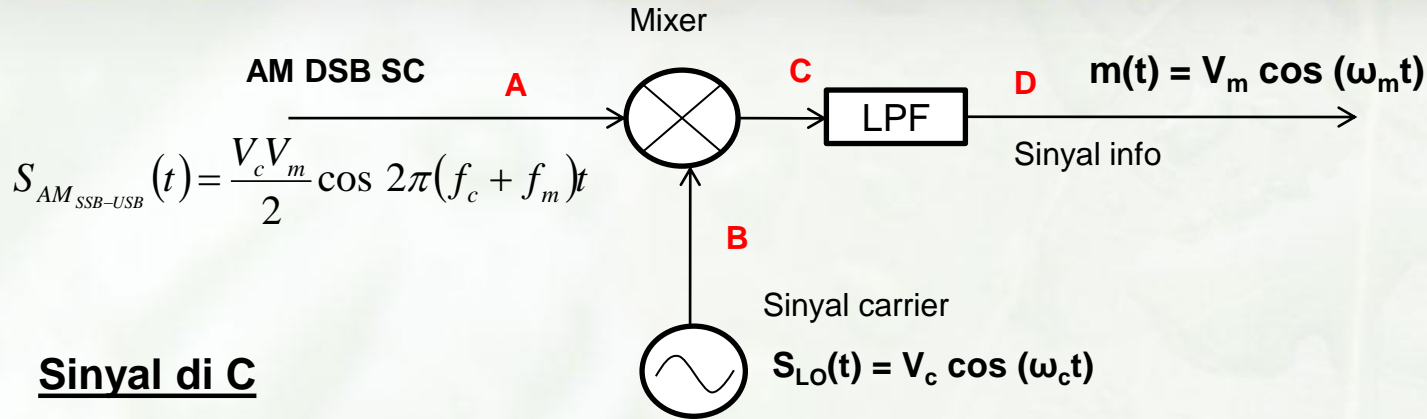
- ❑ Proses demodulasi dilakukan dengan Cara yang sama dengan AM-DSB-SC





# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Demodulasi/Deteksi Sinyal AM-SSB



### Sinyal di C

$$\begin{aligned}
 S_{di\ C}(t) &= \frac{V_m V_c}{2} \cos(2\pi(f_c + f_m)t) V_{LO} \cos(2\pi f_c t) \\
 &= \frac{V_m V_c V_{LO}}{4} \cos(2\pi(2f_c + f_m)t) + \frac{V_m V_c V_{LO}}{4} \cos(2\pi(f_m)t)
 \end{aligned}$$

**Yang Lolos dari LPF**

### Sinyal di D

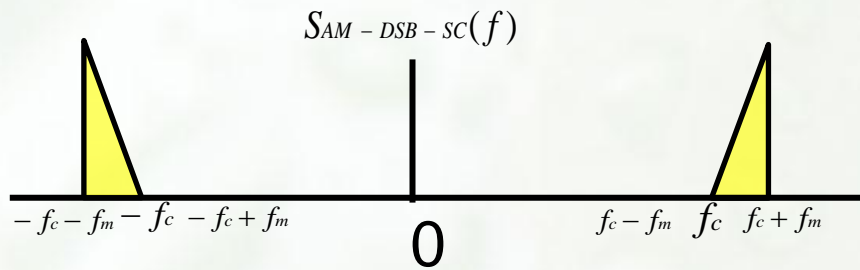
$$S_{di\ D}(t) = \frac{V_m V_c V_{LO}}{4} \cos(2\pi f_m t)$$

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Modulasi AM-SSB

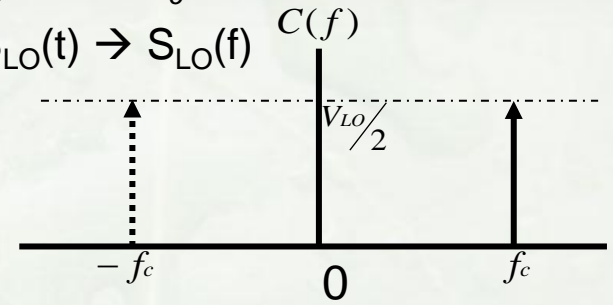
(informasi/pemodulasi sembarang  $m(t)$  – analisa kawasan frekuensi)

MODULATED SIGNAL (AM-SSB-USB)

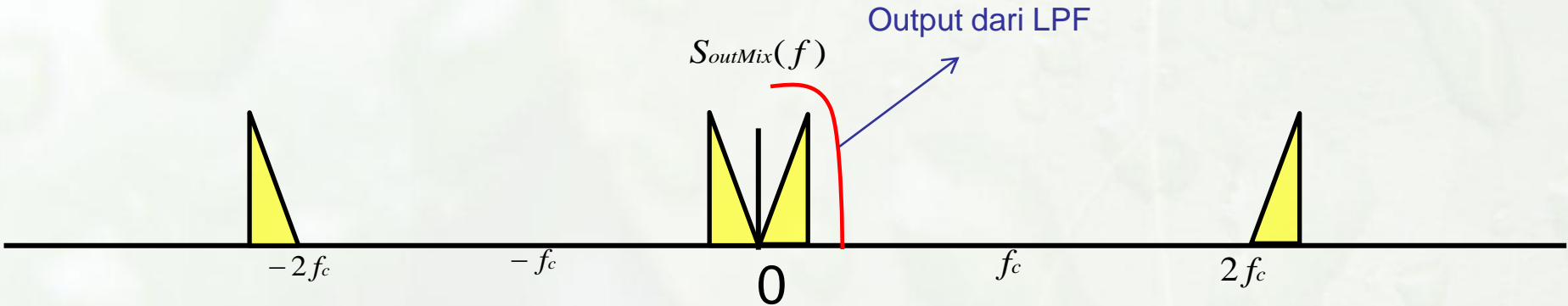


$$S_{LO}(t) = V_{LO} \cos 2\pi f_c t$$

Spektrum  $S_{LO}(t) \rightarrow S_{LO}(f)$



Output demodulator



# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Kesimpulan AM-SSB

- ❑ Good bandwidth utilization (message signal bandwidth = modulated signal bandwidth)
- ❑ Good power efficiency
- ❑ Demodulation is harder as compares to AM-DSB-FC; Exact filter design and coherent demodulation are required

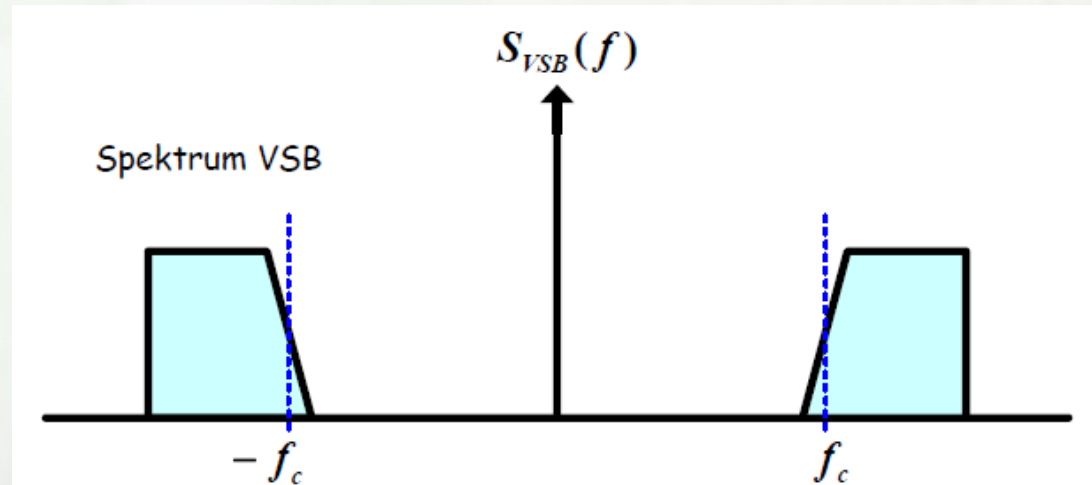


AM-VSB

# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## AM-VSB (Vestigial Side Band)

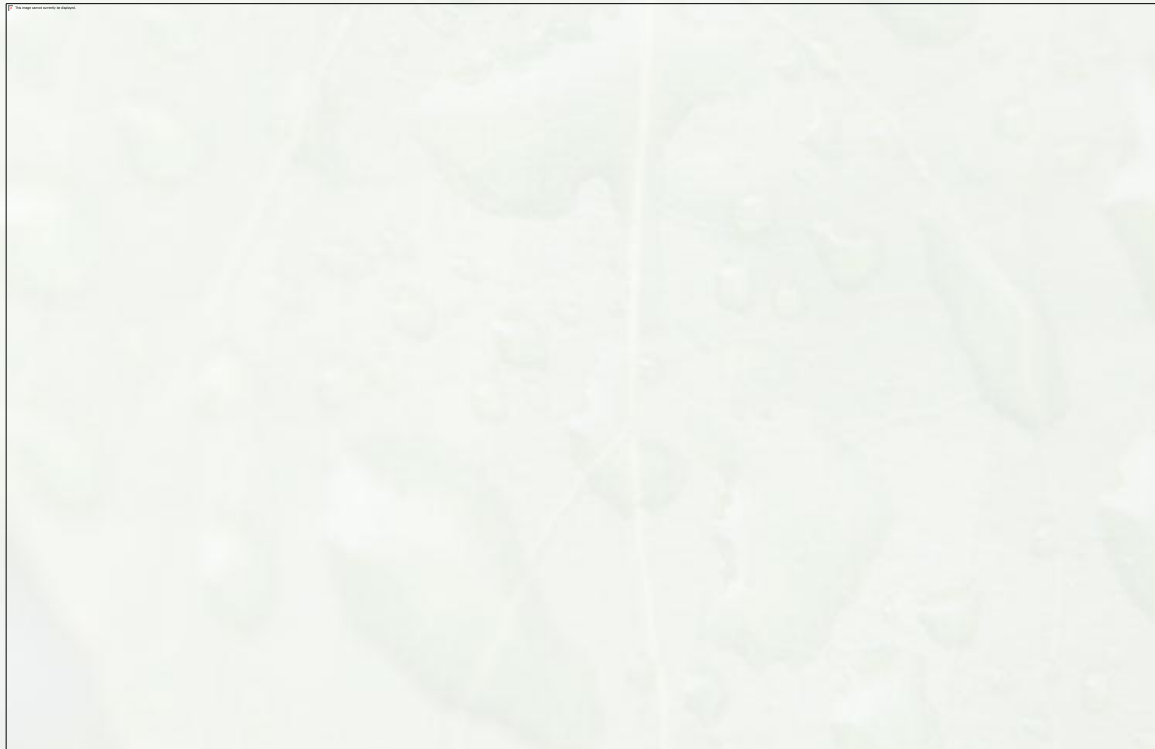
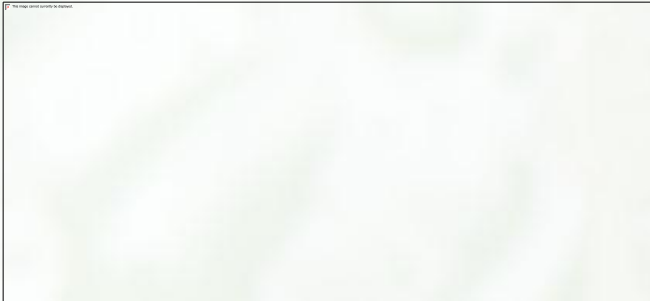
- ❑ DSB memiliki kelemahan karena membuang-buang bandwidth dan power, sedangkan SSB meskipun lebih efisien (BW dan Power) tetapi sulit dalam praktek karena butuh filter yang sangat ideal dan biasanya low frekuensi mengandung informasi yang penting
- ❑ VSB Merupakan kompromi (jalan tengah) antara SSB dan DSB
- ❑ Biasanya digunakan dalam transmisi sinyal video pada televisi



# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Pembangkitan Sinyal VSB

- Sinyal VSB dapat dibangkitkan dengan proses seperti terlihat pada diagram blok berikut



# AMPLITUDE MODULATION (AM)

Pembangkitan Sinyal VSB



# AMPLITUDE MODULATION (AM)

## Kesimpulan AM-VSB

- ❑ Offers a compromise between SSB and DSB-SC
- ❑ VSB is standard for transmission of TV and similar signals
- ❑ Bandwidth saving can be significant if modulating signals are of large bandwidth as in TV and wide band data signals.

For example with TV the bandwidth of the modulating signal can extend up to 5.5MHz; with full AM the bandwidth required is 11MHz



# OUTLINE

---

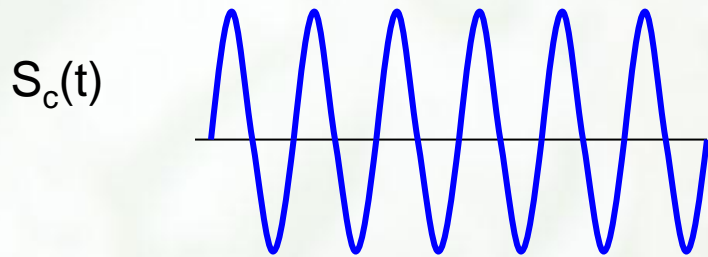
## Modulasi, Demodulasi, Kinerja Sistem Frequency Modulation (FM)

---

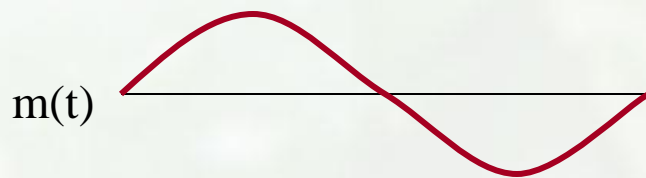
# FREQUENCY MODULATION (FM)

## Pembentukan sinyal FM

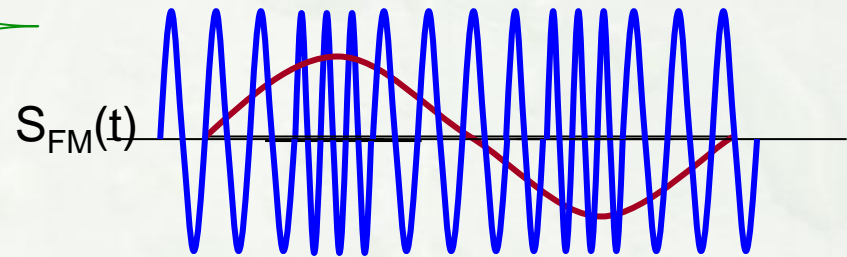
Pembawa :  $S_c(t) = V_c \cos(\omega_c t)$



Pemodulasi :  $m(t)$



$$S_{FM}(t) = V_c \cos \left[ 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(t) dt \right]$$



$k_f$  = sensitivitas Frekuensi [Hz/volt]

# FREQUENCY MODULATION

## FM → Pemodulasi Sinusoidal Tunggal

$$m(t) = V_m \cos(2\pi f_m t)$$

$$S_c(t) = V_c \cos(2\pi f_c t)$$

$$S_{FM}(t) = V_c \cos \left[ 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(t) dt \right]$$

$$= V_c \cos \left[ 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t V_m \cos(2\pi f_m t) dt \right]$$

$$= V_c \cos \left[ 2\pi f_c t + 2\pi k_f V_m \int_0^t \cos(2\pi f_m t) dt \right]$$

$$= V_c \cos \left[ 2\pi f_c t + \frac{2\pi \Delta f}{2\pi f_m} \sin(2\pi f_m t) \right]$$

$$= V_c \cos \left[ 2\pi f_c t + \frac{\Delta f}{f_m} \sin(2\pi f_m t) \right]$$

$$= V_c \cos \left[ 2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t) \right] \theta_i(t)$$

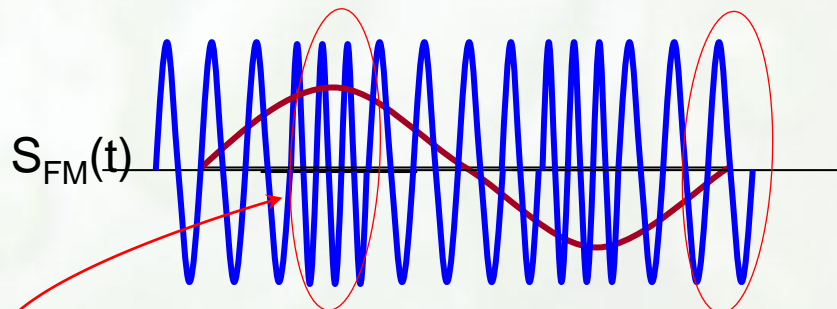
Sudut/Angular

Deviasi frekuensi

$$\Delta f = k_f V_m$$

Index Modulasi

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m}$$



Frekuensi Sesaat

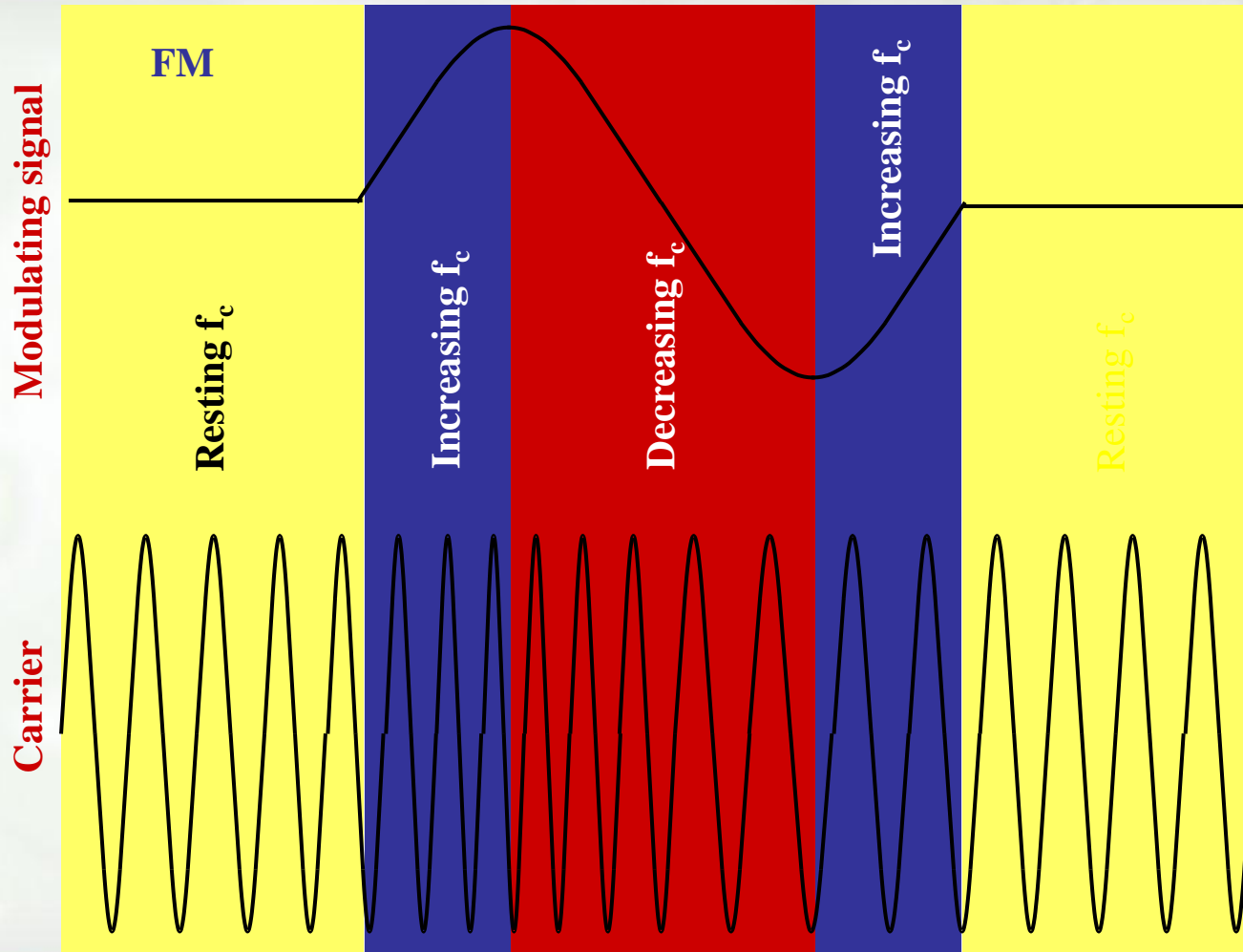
$$f_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta_i(t)}{dt}$$

$$f_i(t) = f_c + k_f V_m \cos(2\pi f_m t)$$

$$f_i|_{\max} = f_c + \Delta f \quad ; \quad f_i|_{\min} = f_c - \Delta f$$

# FREQUENCY MODULATION

Ilustrasi Sinyal FM pada Domain Waktu



# FREQUENCY MODULATION

## FM → Pemodulasi Sinyal Sembarang

- ❑ When  $m(t)$  is a band of signals, e.g. speech or music the analysis is very difficult (impossible?).
- ❑ Calculations usually assume a single tone frequency equal to the maximum input frequency.  
*E.g.  $m(t) \equiv$  band 20Hz  $\rightarrow$  15kHz,  $f_m = 15$ kHz is used.*



SPECTRUM SINYAL FM

# FREQUENCY MODULATION (FM)

## Spectrum FM untuk info Single Tone

- Berikut ini adalah persamaan FM untuk info single tone :

$$S_{FM}(t) = V_c \cos[2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t)]$$

- Persamaan tersebut dapat dijabarkan menjadi persamaan berikut :

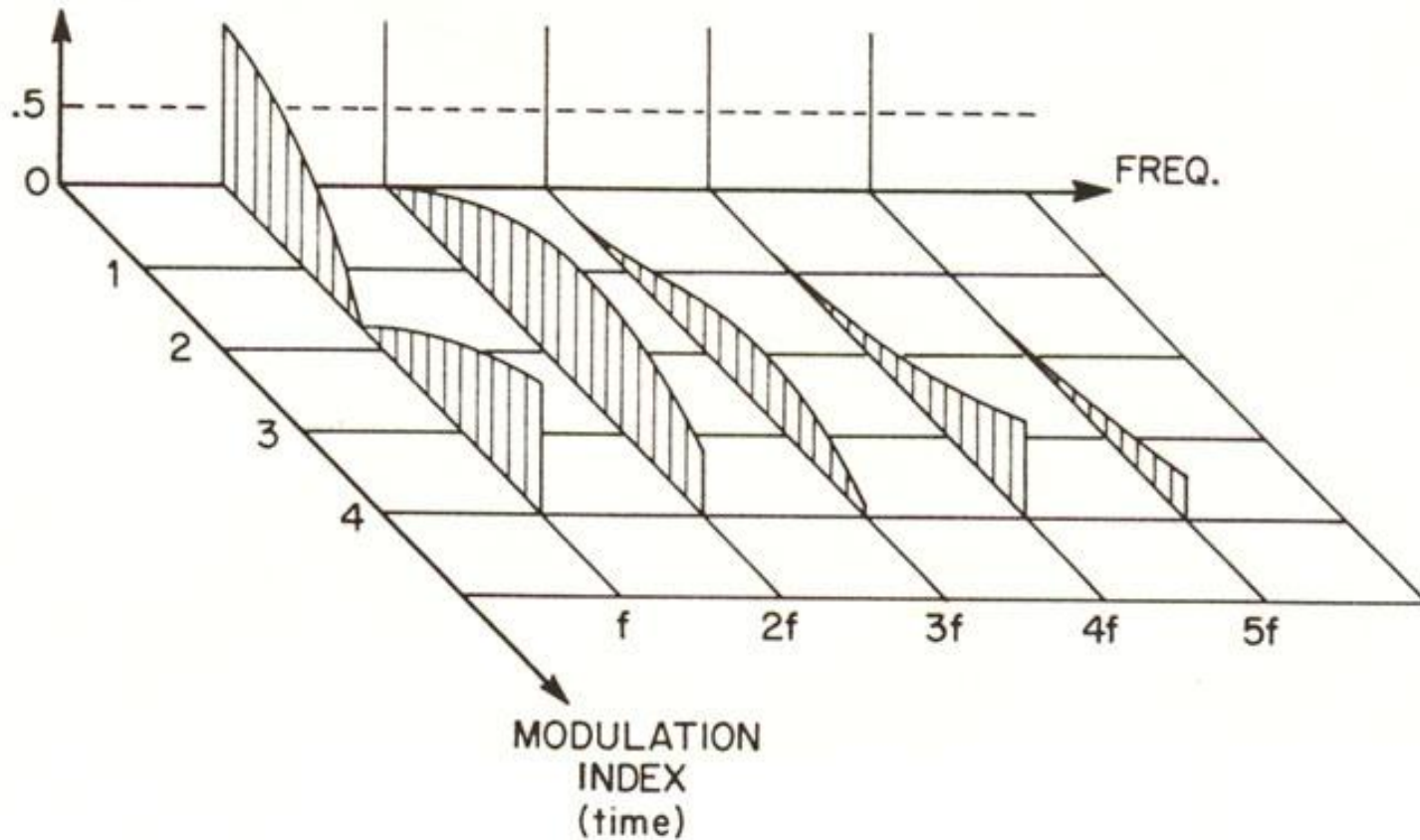
$$S_{FM}(t) = V_c \sum_{-\infty}^{+\infty} J_n(\beta) \cos(2\pi f_c + n2\pi f_m)t$$

Dimana  $J_n(\beta)$  adalah fungsi bessel dan sudah disediakan dalam bentuk grafik dan tabel

# FREQUENCY MODULATION (FM)

## Grafik Fungsi Bessel

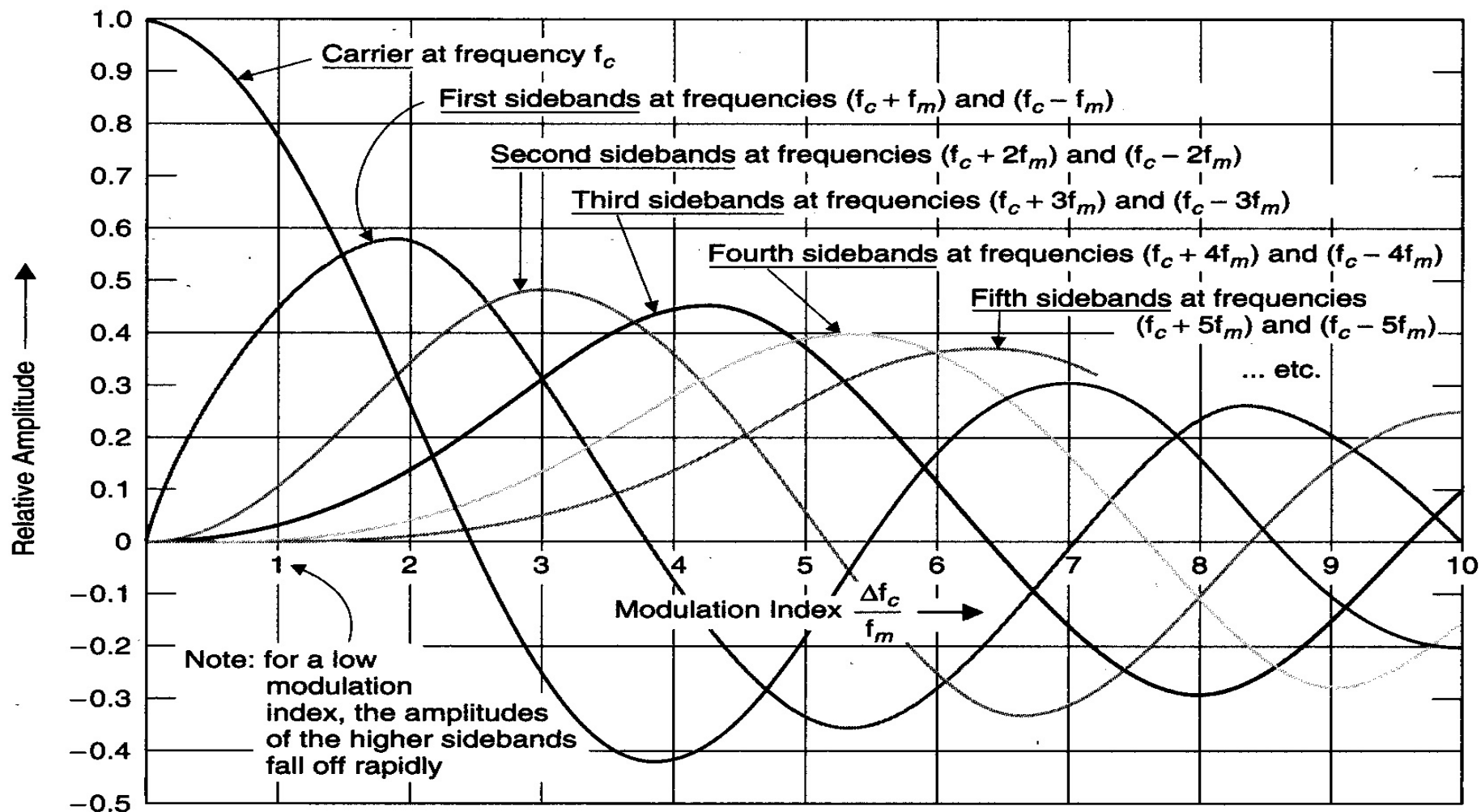
AMPLITUDE





# FREQUENCY MODULATION (FM)

## Grafik Fungsi Bessel



# FREQUENCY MODULATION (FM)

## Tabel Fungsi Bessel

**TABLE 4.1** TABLE OF BESSEL FUNCTION VALUES

$n$	$\beta = 0.1$	$\beta = 0.2$	$\beta = 0.5$	$\beta = 1$	$\beta = 2$	$\beta = 5$	$\beta = 8$	$\beta = 10$
0	0.997	0.990	0.938	0.765	0.224	-0.178	0.172	-0.246
1	0.050	0.100	0.242	<u>0.440</u>	<u>0.577</u>	-0.328	0.235	0.043
2	0.001	0.005	0.031	<u>0.115</u>	0.353	0.047	-0.113	0.255
3				0.020	<u>0.129</u>	0.365	-0.291	0.058
4				0.002	0.034	<u>0.391</u>	-0.105	-0.220
5					0.007	0.261	0.186	-0.234
6					0.001	<u>0.131</u>	0.338	-0.014
7						0.053	<u>0.321</u>	0.217
8						0.018	0.223	<u>0.318</u>
9						0.006	<u>0.126</u>	0.292
10						0.001	0.061	0.207
11							0.026	<u>0.123</u>
12							0.010	0.063
13							0.003	0.029
14							0.001	0.012
15								0.004
16								0.001

(From Ziemer and Tranter; © 1990 Houghton Mifflin, reprinted with permission.)

Single and double underlines indicate the number of harmonics containing 70% and 98% of total power, respectively.

# FREQUENCY MODULATION (FM)

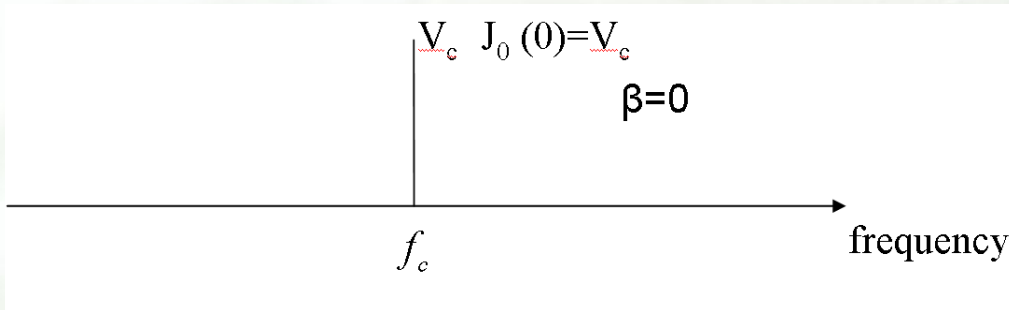
## Keterangan Fungsi Bessel

- ❑ Fungsi Bessel merepresentasikan sideband – sideband yang muncul diantara frekuensi carrier dan terletak pada frekuensi informasi dan kelipatannya.
- ❑ Jumlah sideband pada fungsi Bessel tak hingga.
- ❑ Pada sinyal FM, fungsi Bessel menentukan amplituda sinyal carrier dan amplituda sidebandnya.
- ❑ Sideband yang amplitudanya kurang dari 1% amplituda sinyal carrier, dapat diabaikan.

# FREQUENCY MODULATION (FM)

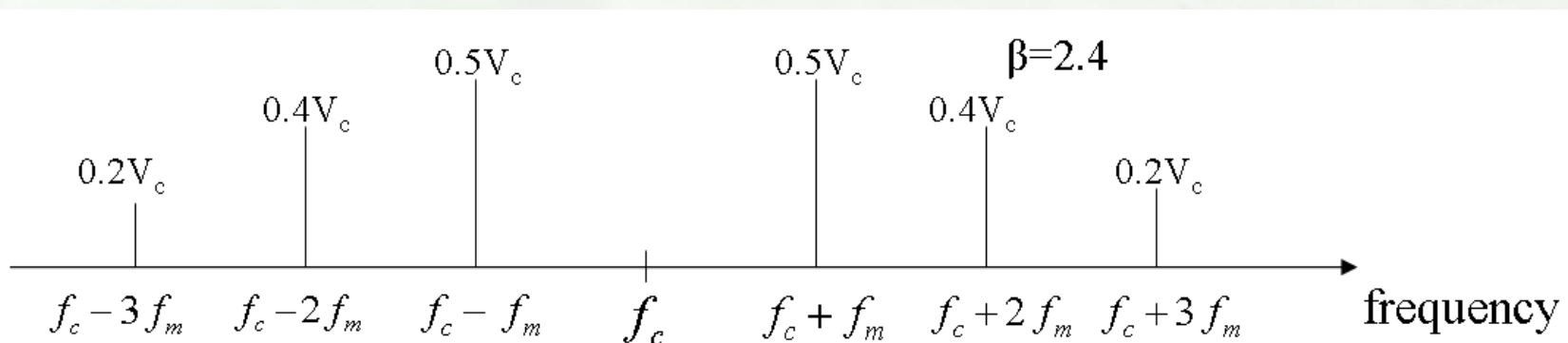
## Contoh Spektrum FM (Fungsi Bessel)

$\beta = 0$  → Saat  $\beta = 0$  hanya ada carier dan tidak ada info yang dimodulasi dan  $J_0(0) = 1$ , dan nilai  $J_n(0) = 0$ ,



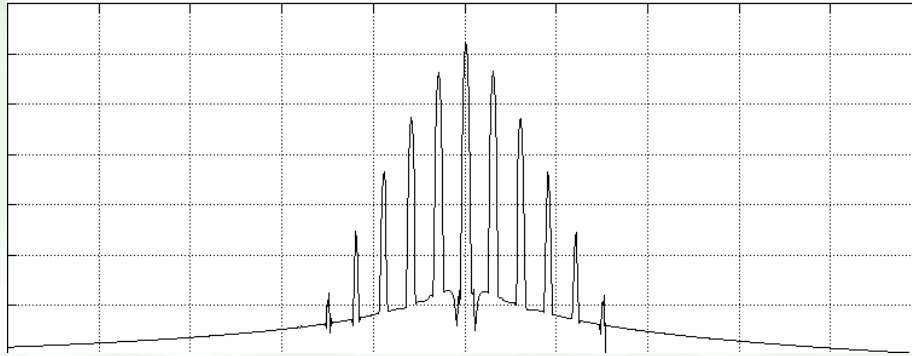
$\beta = 2.4$

Dari Grafik (pendekatan) →  $J_0(2.4) = 0$ ,  $J_1(2.4) = 0.5$ ,  $J_2(2.4) = 0.45$  and  $J_3(2.4) = 0.2$

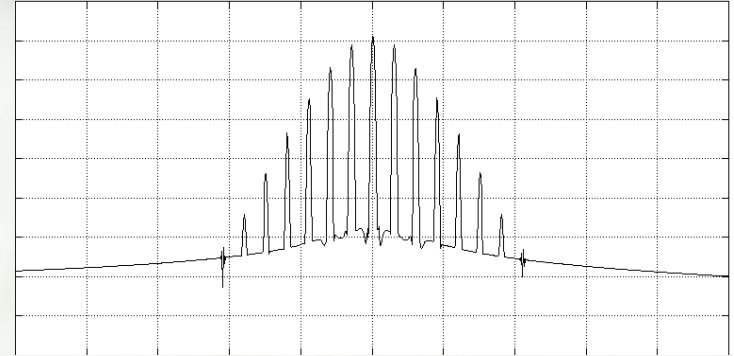


# FREQUENCY MODULATION (FM)

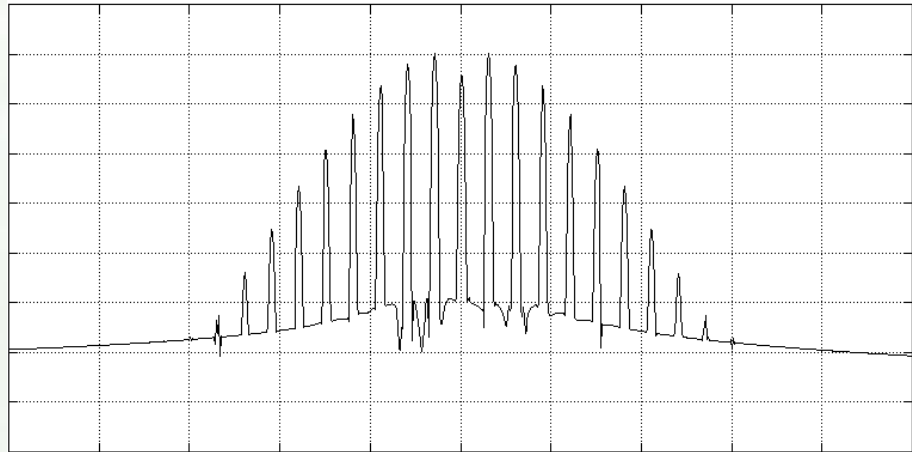
Spectrum sinyal FM untuk beberapa index modulasi



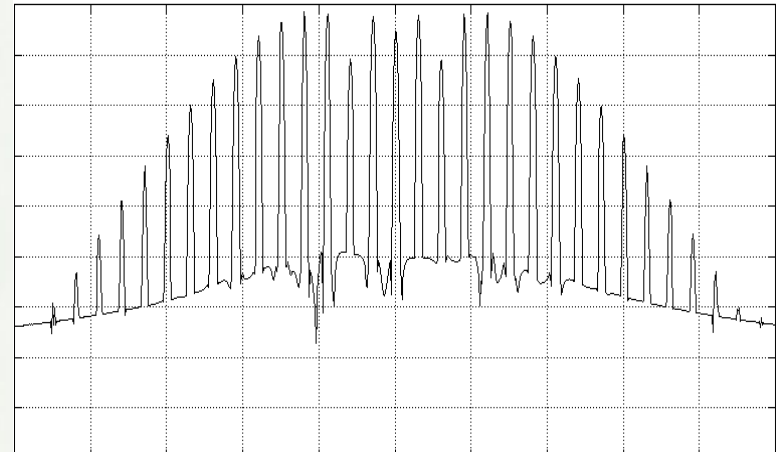
$\beta=0.5$



$\beta=1$



$\beta=5$



$\beta=10$



BANDWIDTH FM

# FREQUENCY MODULATION (FM)

## Significant Sideband

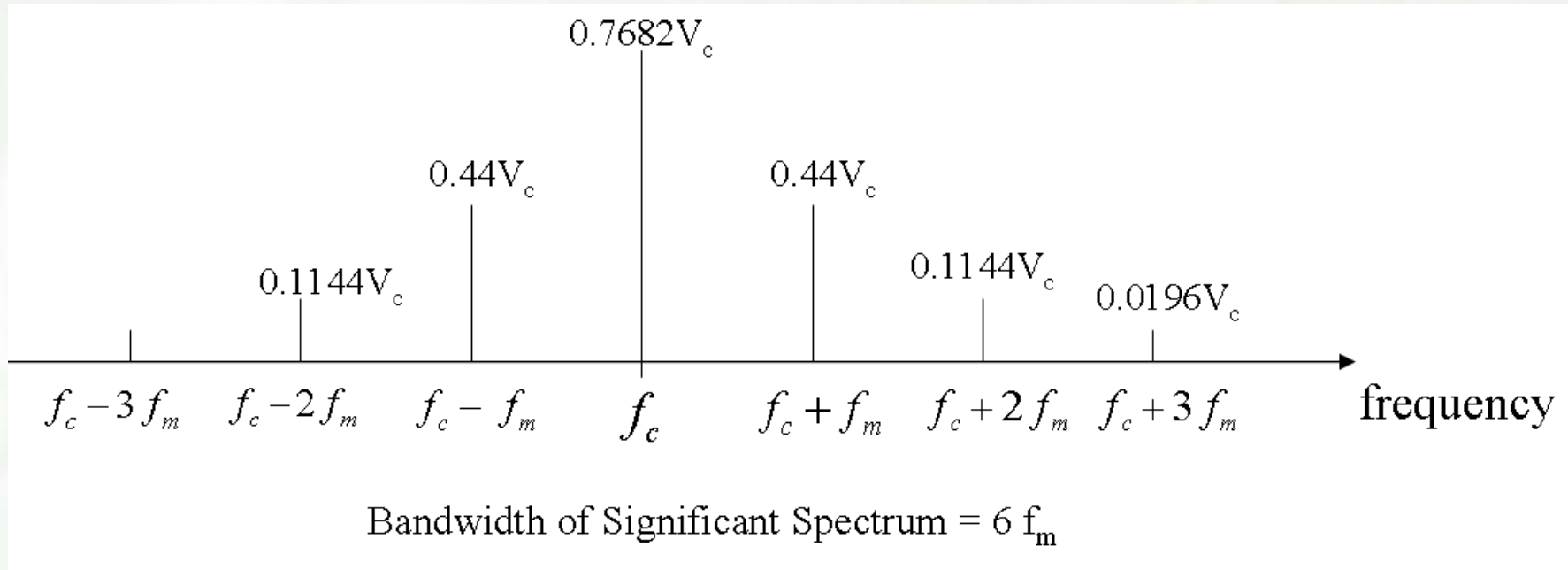
- ❑ Seperti terlihat pada tabel fungsi Bessel, untuk nilai  $n$  di atas nilai tertentu, nilai  $J_n(\beta)$  menjadi sangat kecil. Pada FM spectrum sideband dianggap signifikan jika  $J_n(\beta) \geq 0.01$  (1%).
- ❑ Meskipun sebenarnya BW signal FM tidak terbatas, tetapi komponen sideband dengan amplituda  $V_c J_n(\beta)$  dimana  $J_n(\beta) < 0.01$  menjadi tidak signifikan dan bisa diabaikan

**Example:** A message signal with a frequency  $f_m$  Hz modulates a carrier  $f_c$  to produce FM with a modulation index  $\beta = 1$ . Sketch the spectrum.

$n$	$J_n(1)$	Amplitude	Frequency
0	0.7652	$0.7652V_c$	$f_c$
1	0.4400	$0.44V_c$	$f_c + f_m$ $f_c - f_m$
2	0.1149	$0.1149V_c$	$f_c + 2f_m$ $f_c - 2f_m$
3	0.0196	$0.0196V_c$	$f_c + 3f_m$ $f_c - 3f_m$
4	0.0025	<i>Insignificant</i>	
5	0.0002	<i>Insignificant</i>	

# FREQUENCY MODULATION (FM)

## Significant Sideband



As shown, the bandwidth of the spectrum containing significant components is  $6f_m$ , for  $\beta = 1$ .

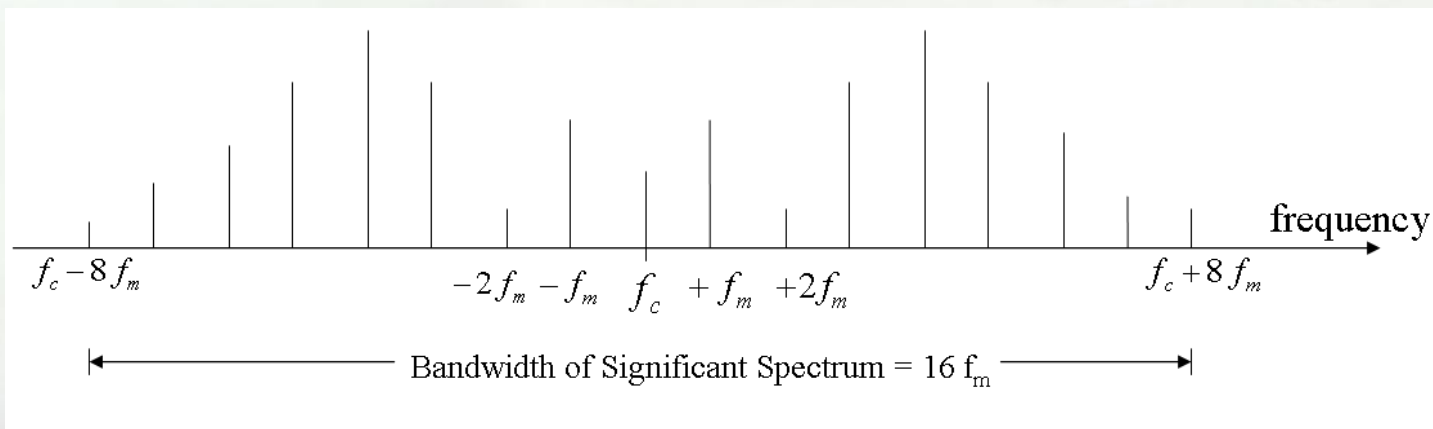


# FREQUENCY MODULATION (FM)

## Significant Sideband

The table below shows the number of significant sidebands for various modulation indices ( $\beta$ ) and the associated spectral bandwidth.

$\beta$	No of sidebands $\geq 1\%$ of unmodulated carrier	Bandwidth
0.1	2	$2f_m$
0.3	4	$4f_m$
0.5	4	$4f_m$
1.0	6	$6f_m$
2.0	8	$8f_m$
5.0	16	$16f_m$
10.0	28	$28f_m$



# FREQUENCY MODULATION (FM)

## Bandwidth FM

- ❑ Secara teoritis, bandwidth sinyal FM adalah tak hingga. Hal ini bisa dilihat pada grafik fungsi besse
- ❑ Untuk pendekatan, maka bandwidth FM didekati dengan

### **BANDWIDTH CARSON:**

$$BW = 2 (\Delta f + f_m) = 2f_m(\beta + 1)$$

- ❑ Pada BANDWIDTH CARSON kandungan energi sinyal FM adalah 99 % dari kandungan energi total sinyal FM
- ❑  $\Delta f$  = deviasi frekuensi maksimum (untuk informasi sinyal sembarang)
- ❑  $\Delta f$  = deviasi frekuensi (untuk informasi sinyal single tone)
- ❑  $f_m$  = frekuensi pemodulasi/informasi maksimum (untuk informasi sinyal sembarang)
- ❑  $f_m$  = frekuensi pemodulasi/informasi (untuk informasi sinyal single tone)

# FREQUENCY MODULATION (FM)

## Bandwidth FM

<b>Index Modulasi</b>	<b>Jumlah Sideband yang Significant</b>	<b>Bandwidth dalam <math>f_m</math></b>
<b>0.1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>0.3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>0.5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>1.0</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>2.0</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>5.0</b>	<b>12</b>	<b>12</b>
<b>10.0</b>	<b>22</b>	<b>22</b>
<b>20.0</b>	<b>42</b>	<b>42</b>
<b>30.0</b>	<b>62</b>	<b>62</b>



POWER FM

# FREQUENCY MODULATION (FM)

## FM Power Distribution

- ❑ Seperti terlihat pada tabel fungsi besel, terlihat bahwa ketika amplituda pada sideband meningkat, amplituda pada carier,  $J_0$  turun.
- ❑ Hal ini dikarenakan pada FM, total daya transmit selalu konstan dan rata-rata daya total sama dengan daya carier (unmodulated), sehingga daya FM selalu konstan baik dengan maupun tanpa ada sinyal pemodulasi
- ❑ Sehingga efeknya, total daya yang awalnya berada di carier menjadi terdistribusi pada seluruh spectrum komponen sidebandnya, pada batas nilai signifikan dalam fungsi besel untuk nilai index modulasi tertentu.
- ❑ Pada nilai index modulasi tertentu, amplitudo carier bisa sama dengan nol, dimana dayanya dibawa hanya oleh sidebandnya saja → **Null Carrier**

# FREQUENCY MODULATION (FM)

## FM Power Distribution

Dari Persamaan sinyal FM :

$$S_{FM}(t) = V_c \sum_{-\infty}^{+\infty} J_n(\beta) \cos(2\pi f_c + n2\pi f_m)t$$

Kita bisa lihat bahwa nilai maksimum dari komponennya adalah  $V_c J_n(\beta)$  untuk komponen ke n

$$\text{Nilai daya rata-rata untuk satu komponen} = \frac{(V_{RMS})^2}{R} = \frac{\left(\frac{V_{pk}}{\sqrt{2}}\right)^2}{R}$$

$$\text{sehingga daya rata-rata untuk komponen ke-n adalah} = \frac{\left(\frac{V_c J_n(\beta)}{\sqrt{2}}\right)^2}{R} = \frac{(V_c J_n(\beta))^2}{2R}$$

sehingga, total daya pada spectrum yang tak terbatas adalah :

Total Daya rata-rata  
pada Referensi  
Resistansi 1 ohm



$$P_T = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{(V_c J_n(\beta))^2}{2}$$

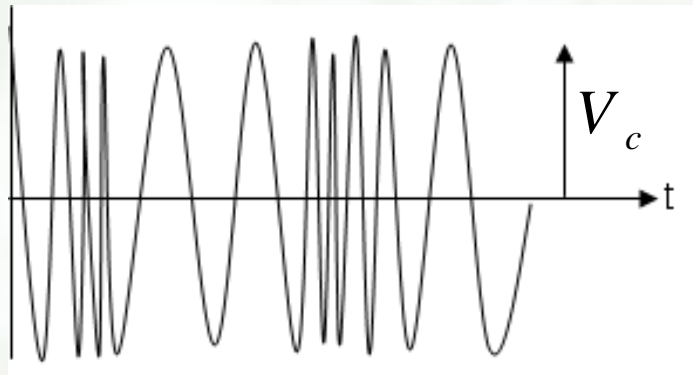


Dengan cara ini kita harus menghitung seluruh komponen spectrum FM yang tidak terbatas untuk menghitung daya total FM

# FREQUENCY MODULATION (FM)

## FM Power Distribution

Tapi, karena terlihat dari bentuk gelombang FM, dimana nilai maksimumnya konstan sebesar  $V_c$ , maka :



Sehingga nilai RMS nya adalah :

$$V_{RMS} = \left( \frac{V_{pk}}{\sqrt{2}} \right)^2 = \frac{V_c}{\sqrt{2}}$$

Sehingga rata-rata daya total pada referensi 1 ohm bisa kita tuliskan :

$$P_T = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{(V_c J_n(\beta))^2}{2} = \left( \frac{V_c}{\sqrt{2}} \right)^2 = \frac{V_c^2}{2}$$

Sehingga jika kita tahu amplituda carier  $V_c$  dari sinyal FM, maka daya rata-rata total FM untuk seluruh spectrum bisa dihitung dengan mudah

# FREQUENCY MODULATION (FM)

## FM Power Distribution-Contoh

Misalkan suatu FM broadcasting mengirimkan suara 4 Khz dengan deviasi frekuensi 2 Khz, jika diketahui tegangan carier sebelum modulasi adalah 10 V rms pada impedance 50 ohm, maka berapa daya FM ?

**JAWAB :**

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{2\text{khz}}{4\text{khz}} = 0,5$$

$\beta$	Carrier	Sideband	
		1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>
0,5	0,94	0,24	0,03

carier voltage =  $10 \times 0,94 = 9,4$  volt

Daya =  $9,4^2 / 50 = 1,7672$  watt

the first sideband voltage =  $10 \times 0,24 = 2,4$  volt

Daya =  $2,4^2 / 50 \times 2 \text{ pair} = 0,2304$  watt

second sideband voltage =  $10 \times 0,03 = 0,3$  volt

Daya =  $0,3^2 / 50 \times 2 \text{ pair} = 0,0036$  watt

Daya Total=

$1,7672 + 0,2304 + 0,0036 =$

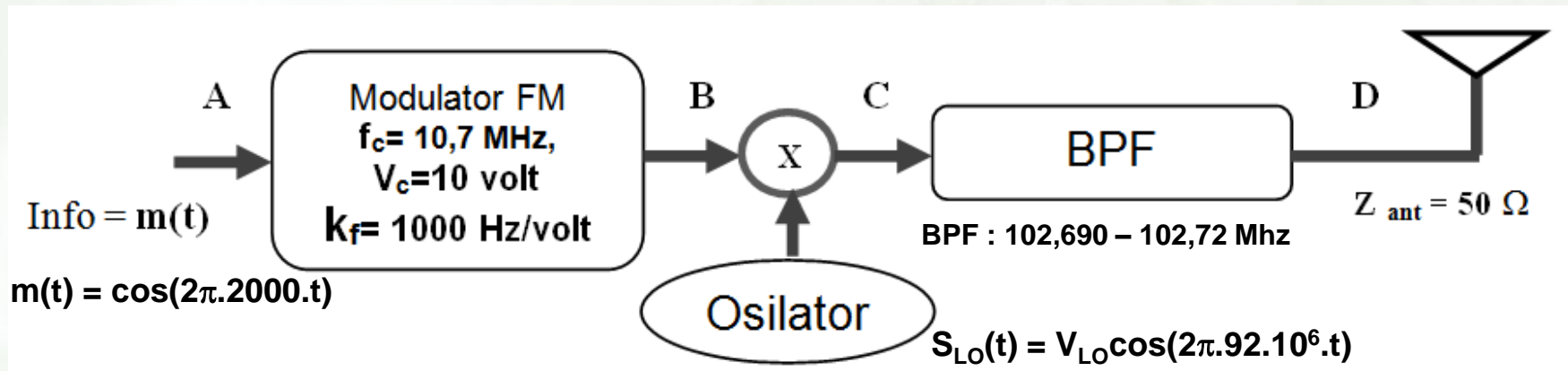
$10^2 / 50 = 2$  Watt




# FREQUENCY MODULATION (FM)

## Contoh Soal

Perhatikan **pemancar FM** dengan diagram blok sbb :



- Gambarkan gelombang sinyal FM (di B) pada gambar diatas (domain waktu)
- Hitung bandwidth carson dan daya rata-rata FM (di B)
- Gambarkan spektrum sinyal FM di B, C dan di D !



MODULATOR FM

# FREQUENCY MODULATION (FM)

## Generation of FM

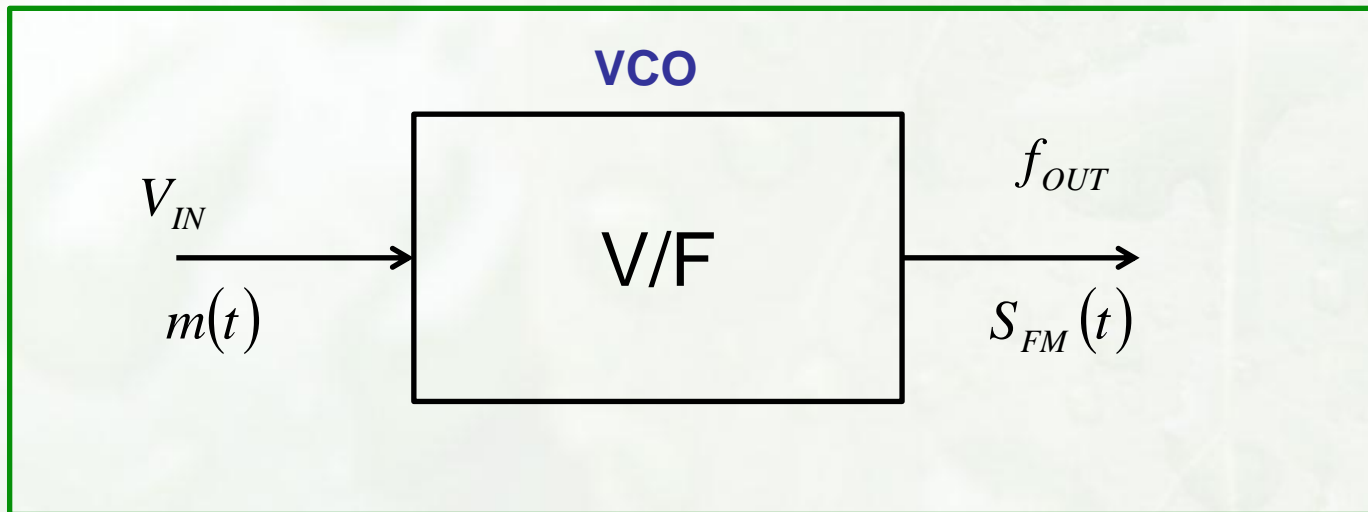
Secara garis besar ada 2 cara untuk membuat modulator FM

1. Direct Method → Menggunakan VCO (Voltage Controlled Oscillator)
2. Indirect Method → Menggunakan Frequency Multiplier

# FREQUENCY MODULATION (FM)

## Generation of FM – Direct Method

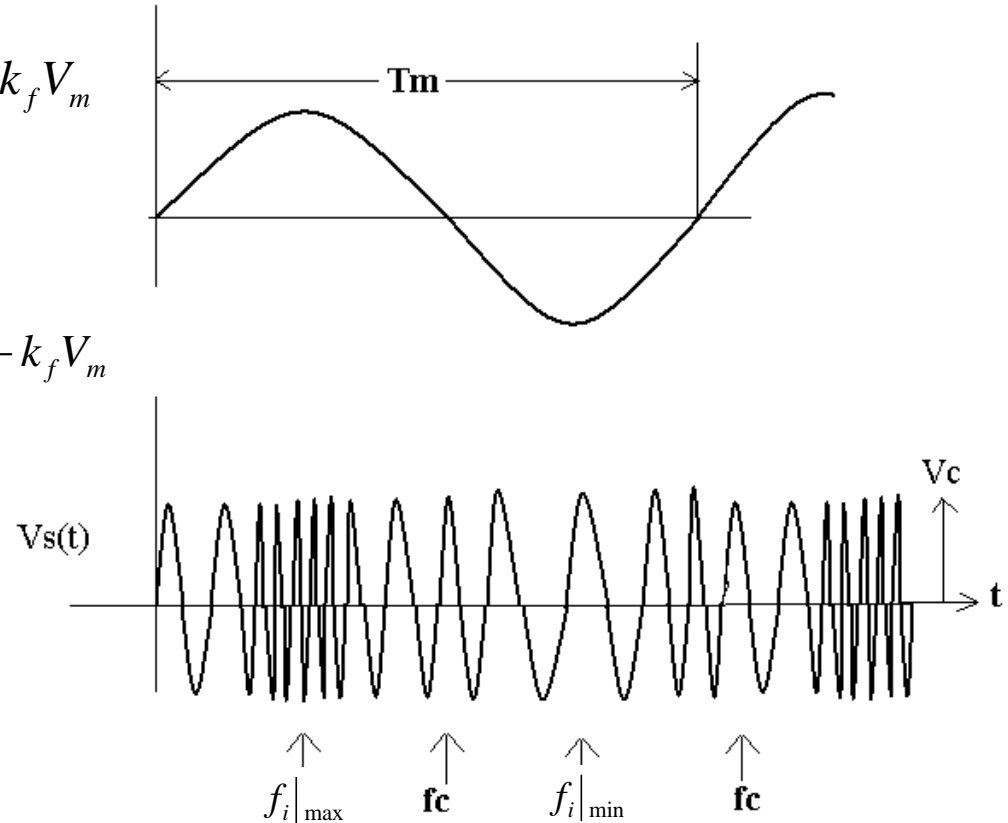
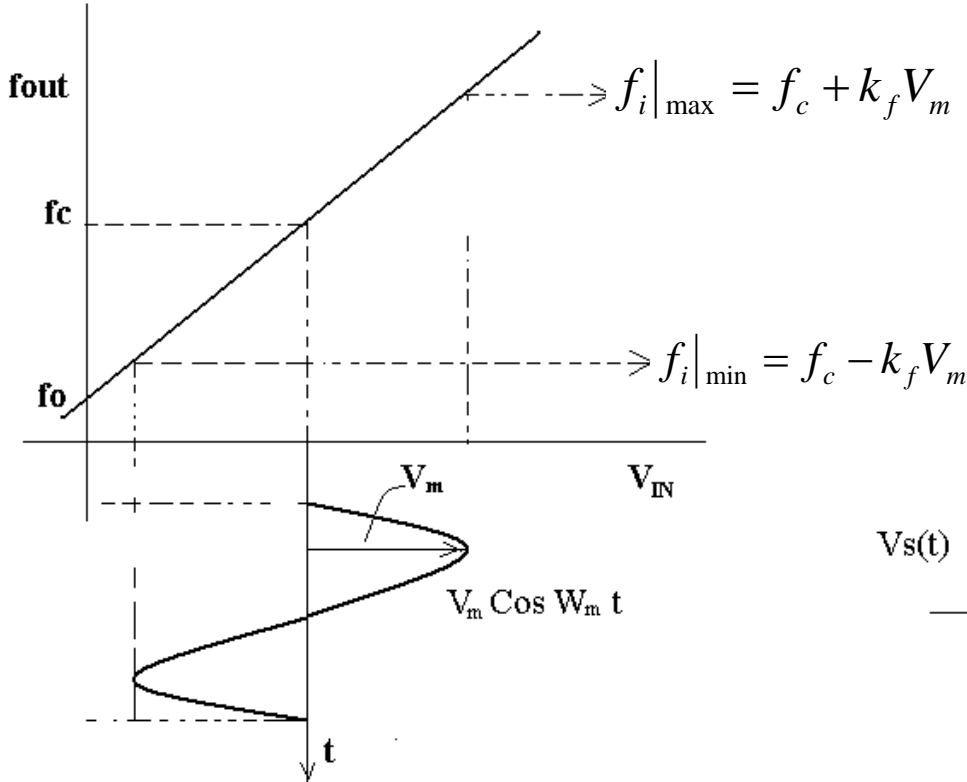
Blok Diagram pembentukan signal FM :



- ❑ Sinyal pemodulasi (informasi) secara langsung mengontrol sinyal carrier, contohnya adalah dengan menggunakan **Voltage Controlled Oscillator(VCO)**

# FREQUENCY MODULATION (FM)

## Generation of FM – Direct Method

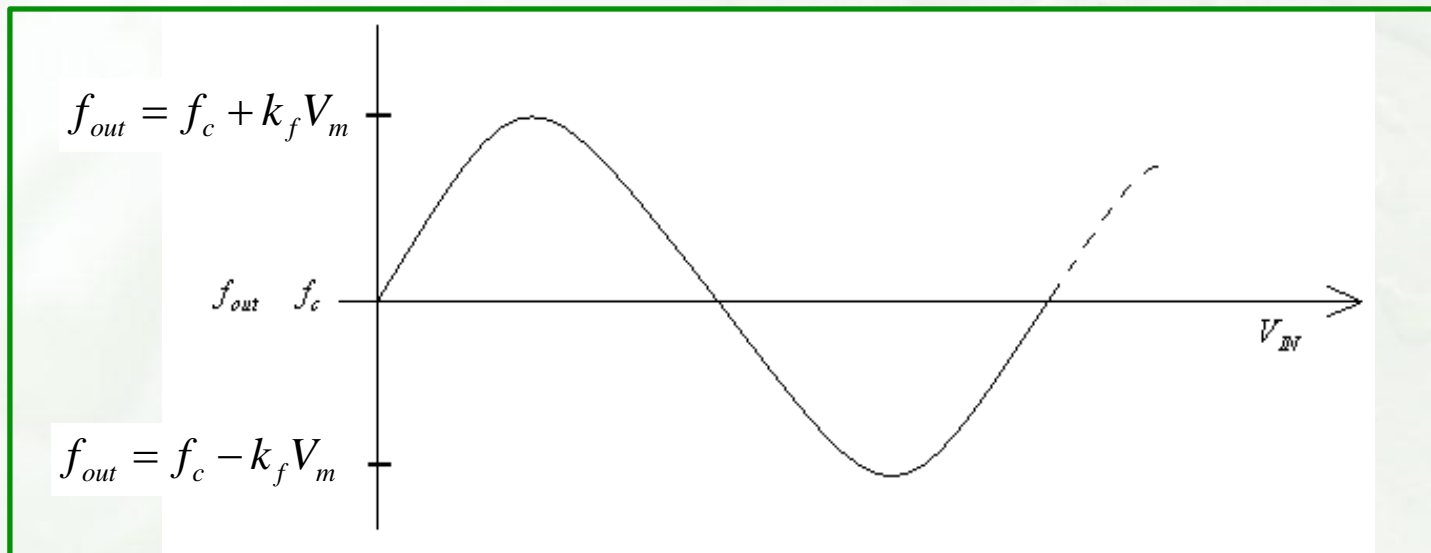


Frekuensi output secara bertahap berubah dari  $f_c$  ke  $(f_c + K_f V_m)$ , kembali ke  $f_c$  kemudian menuju  $(f_c - K_f V_m)$

# FREQUENCY MODULATION (FM)

## Generation of FM –Direct Method

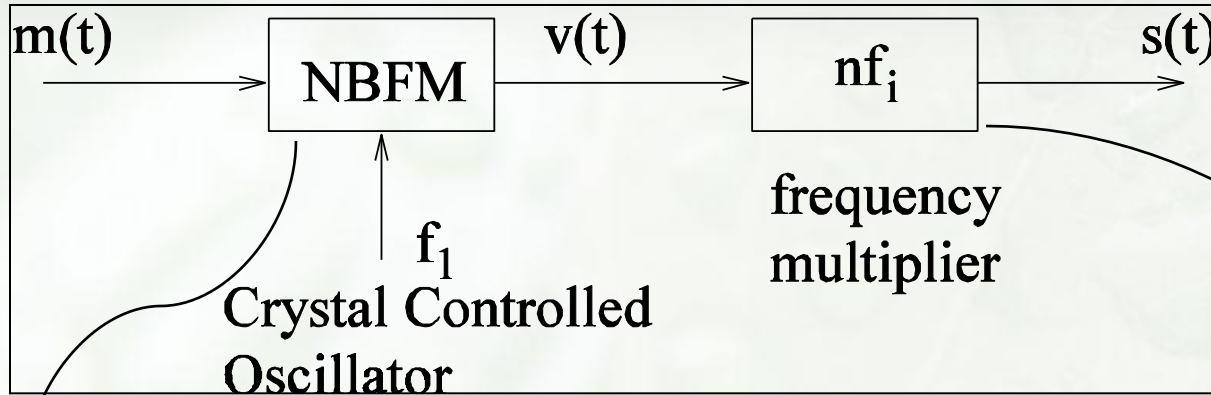
Jika kita plot  $f_{OUT}$  sebagai fungsi dari  $V_{IN}$ :



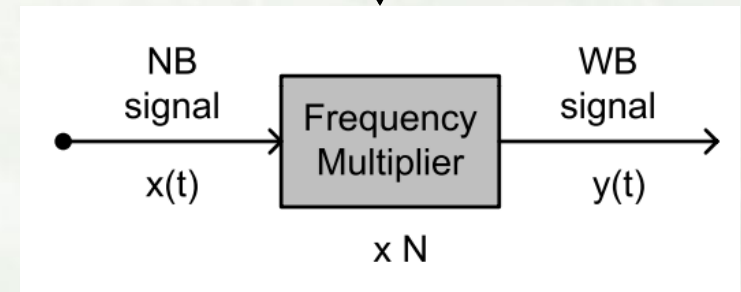
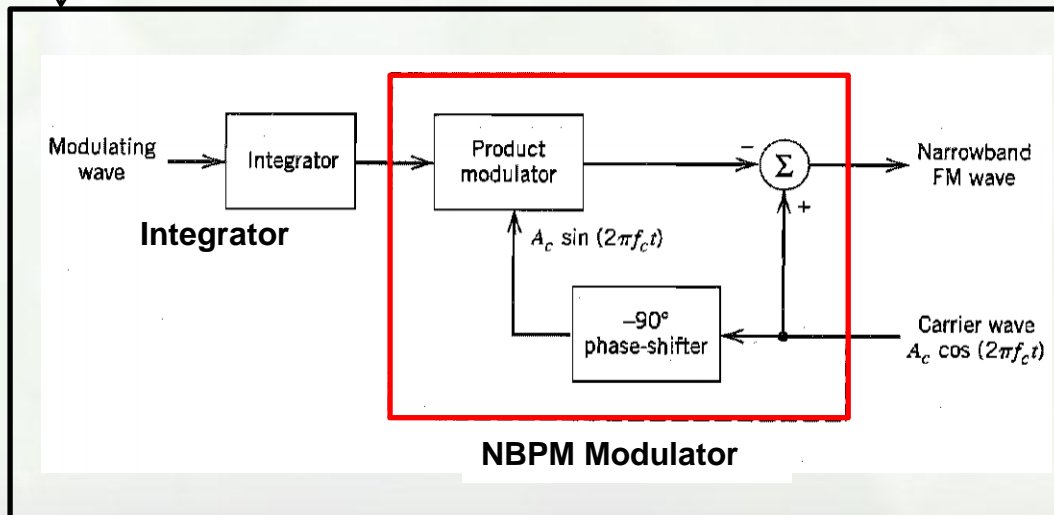
Secara umum,  $m(t)$  akan berupa “signal dengan Band tertentu” sehingga akan terdiri dari **variasi amplituda dan frekuensi**. Keduanya baik perubahan frekuensi atau amplituda disisi input akan di ubah hanya perubahan frekuensi disisi output, sedangkan amplituda outputnya konstan

# FREQUENCY MODULATION (FM)

## Generation of FM – Indirect Method



**NBFM**  $\rightarrow \Delta f \ll f_m$   
 $\rightarrow B_{FM} = 2f_m$   
 $\rightarrow \beta < 0,3$   
**WBFM**  $\rightarrow \Delta f \gg f_m$   
 $\rightarrow B_{FM} = 2 \Delta f$   
 $\rightarrow \beta > 1$



Pada metode ini, sinyal termodulasi sudut pita sempit yang telah diproduksi dikalikan  $n$  oleh sebuah multiplier, sehingga diperoleh sinyal termodulasi sudut pita lebar



DEMODULATOR FM



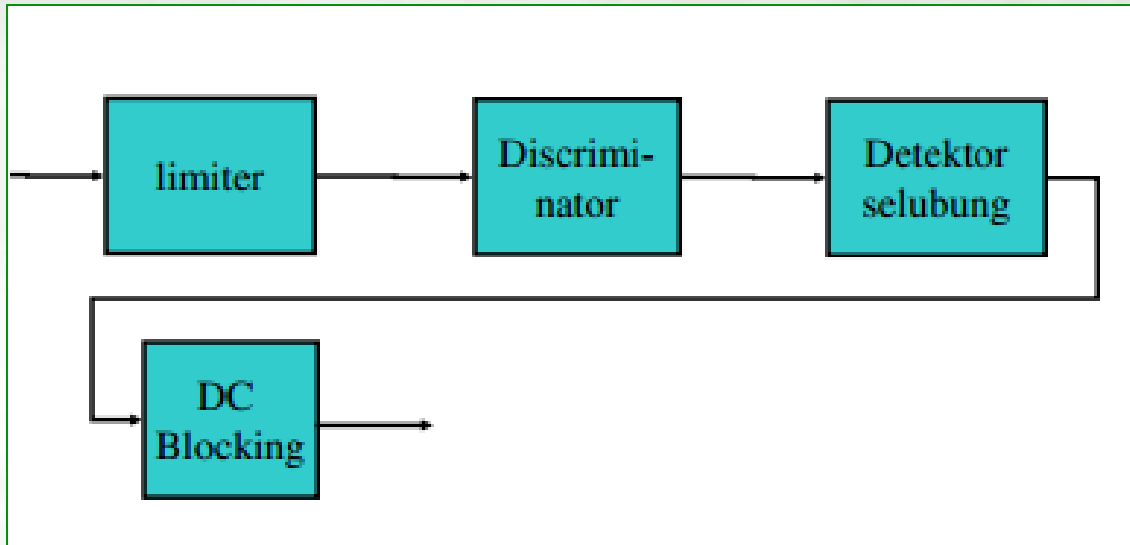
# FREQUENCY MODULATION (FM)

## FM Demodulation –General Principles.

- Types of FM Detectors:
  1. Differentiator with envelope detector (FM to AM conversion)
  2. Zero Crossing detector
  3. Centre Tuned Discriminator / Phase Discriminator / Foster – Seeley Discriminator
  4. Phase Locked Loop (PLL) Demodulator
  5. Ratio Detector

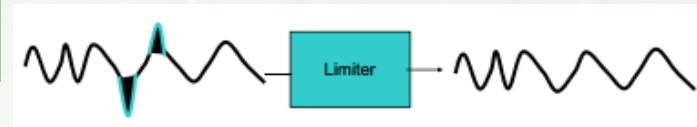
# FREQUENCY MODULATION (FM)

## FM Demodulation – Differentiator with envelope detector



### Limiter

- ❑ Limiter merupakan perangkat yang outputnya akan konstan jika amplituda input melebihi dari nilai threshold
- ❑ Fungsi Limiter pada FM receiver adalah untuk menghilangkan variasi amplitudo dari signal FM yang tidak diinginkan



### Diskriminator

$$S_{FM}(t) = A_c \cos \left[ 2\pi f_{IF} t + 2\pi k_f \int_0^t m(t) dt \right]$$

Pada sinyal FM → informasi terkandung pada frekuensi sinyal FM

Jika dilakukan diferensiasi terhadap  $S_{FM}(t)$  (⇒keluaran discriminator) didapat :

$$S'_{FM}(t) = A_c \left[ 2\pi f_{IF} + 2\pi k_f m(t) \right] \sin \left( 2\pi f_{IF} t + 2\pi k_f \int_{-\infty}^t m(t) dt \right)$$

Informasi terkandung pada bagian **selubung** dari  $S'_{FM}(t)$

# FREQUENCY MODULATION (FM)

## FM Demodulation – Differentiator with envelope detector

Keluaran detektor selubung (masukan DC blocking):

$$S(t) = A_c \left[ 2\pi f_c + 2\pi k_f m(t) \right]$$

selubung dari  $S'_{FM}(t)$



Keluaran DC blocking:

$$\hat{m}(t) = A_c 2\pi k_f m(t) = C.m(t)$$

